

A perspectiva da indústria 4.0 sobre a filosofia de gestão Lean Manufacturing**The industry 4.0 perspective on Lean Manufacturing management philosophy**

DOI:10.34117/bjdv6n1-089

Recebimento dos originais: 30/11/2019

Aceitação para publicação: 09/01/2020

Lucas Martins Ikeziri

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 – Vargem Limpa, Bauru – SP, Brasil

E-mail: lucas_ikeziri@outlook.com

Júlio César Melo

Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 – Vargem Limpa, Bauru – SP, Brasil

E-mail: julioc.melo@terra.com.br

Raquel Teixeira Campos

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 – Vargem Limpa, Bauru – SP, Brasil

E-mail: kel_76@hotmail.com

Luciano Itio Okimura

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual Paulista

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 – Vargem Limpa, Bauru – SP, Brasil

E-mail: luciano.itio@gmail.com

José Alcides Gobbo Junior

Doutor em Administração de Empresas pela Fundação Getulio Vargas

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Endereço: Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 – Vargem Limpa, Bauru – SP, Brasil

E-mail: jose.gobbo@unesp.br

RESUMO

O Lean Manufacturing é uma filosofia de gestão amplamente conhecida que visa melhorar continuamente o valor agregado de produtos e serviços na perspectiva dos clientes à medida que elimina os desperdícios. Após aproximadamente 60 anos, as inovações tecnológicas concedem espaço para um novo modelo denominado Indústria 4.0. Assim sendo, por se

tratarem de abordagens distintas, este artigo tem o propósito de integrar os conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 e do Lean Manufacturing. Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificação dos principais conceitos sobre os dois modelos, possibilitando a exploração de suas relações. Os resultados mostram que o Lean Manufacturing e a Indústria 4.0 não são técnicas semelhantes e tampouco competem entre si. Pelo contrário, são modelos que se complementam e fortalecem principalmente a questão de integração.

Palavras-chave: Just in Time; Sistema Toyota de Produção; Fábrica Inteligente; Sistema Ciber-físico; Internet das Coisas.

ABSTRACT

Lean Manufacturing is a widely recognized management philosophy that aims to continually improve the added value of products and services from the customer perspective while eliminating waste. After approximately 60 years, technological innovations give space for a new model called Industry 4.0. Therefore, because they are different approaches, this article has the purpose of integrating the concepts and tools of Industry 4.0 and Lean Manufacturing. For this, a bibliographic research was carried out to identify the main concepts about the two models, allowing the exploration of their relationships. The results show that Lean Manufacturing and Industry 4.0 are not similar and do not compete. Rather, they are models that complement and strengthen mainly the issue of integration.

Keywords: Just in Time; Toyota Production System; Smart Factory; Cyber Physical Systems; Internet of Things.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o cenário industrial está passando por uma transformação digital que por meio de inovações tecnológicas em Sistemas Ciber-Físicos (*Cyber Physical Systems* – CPS) e Internet das Coisas (*Internet of Things* - IOT), torna-se possível a conexão entre a automação, o controle e a tecnologia da informação proporcionando a evolução e autonomia dos sistemas de manufatura. Esse contexto é denominado Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, termo que foi introduzido em 2011 na feira Hannover Messe, na Alemanha, como uma iniciativa da indústria alemã para se manter competitiva com base em produção inteligente de alta tecnologia, menores custos e alta personalização do produto através da flexibilização dos processos de produção em massa. (OLIVEIRA; SIMÕES, 2017; VAIDYAA; AMBADB; BHOSLEC, 2018).

Com o avanço da globalização nos dias atuais, as indústrias de manufatura têm lidado com cenários dinâmicos e desafiadores. A necessidade de elevados índices de produtividade a custos menores ligada a uma maior participação do cliente ao longo das cadeias de suprimentos são alguns dos reveses que as empresas enfrentam corriqueiramente.

Dentre as diversas abordagens que buscam atender as necessidades das organizações e seus clientes, destaca-se por sua efetividade o *Lean Manufacturing* ou Manufatura Enxuta. Essa abordagem busca continuamente a otimização do valor agregado ao produto do ponto de vista do cliente, por meio de estratégias de eliminação dos desperdícios. Considera-se desperdício, toda operação ou atividade que não agrega valor ao produto, tais como: espera; atividades que originam defeitos; transporte de materiais e produtos acabados; produção excessiva; processamento demorado; estoques e movimentação (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016; SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014).

No âmbito de competitividade, o *Lean Manufacturing* tem se destacado nos últimos 60 anos como modelo de sistema de produção eficiente, buscando maior participação do cliente ao longo da cadeia de valor, resultando em qualidade intrínseca e maior produtividade com menores custos. A Toyota, precursora desse sucesso, foi exemplo de mudança para muitas empresas ao redor do mundo por implementar novas ferramentas ou sistemas de produção nos conceitos de manufatura enxuta (BHAMU; SANGWAN, 2014).

Como a Indústria 4.0 representa um novo paradigma no contexto global da manufatura, há uma necessidade de estudar a relação existente entre as ferramentas consolidadas da abordagem do *Lean Manufacturing* e o avanço das novas tecnologias que integram a Indústria 4.0 (SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Portanto, este trabalho busca integrar os conceitos e ferramentas do *Lean Manufacturing* e da Indústria 4.0. É preciso: 1) identificar o que os estudos anteriores propuseram em relação a essa integração; 2) quais são as contribuições desses estudos; 3) o que se propõe: uma agenda para pesquisas futuras sobre os temas.

O restante desta pesquisa prossegue do seguinte modo: na Seção 2, os conceitos básicos do *Lean Manufacturing* e da Indústria 4.0, assim como suas ferramentas, são brevemente descritos. Na Seção 3, que envolve os métodos de pesquisa, as palavras-chave utilizadas durante a pesquisa são apresentadas. Na Seção 4 é feita a análise de interface entre o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 e, por último, na Seção 5, os resultados são discutidos e as considerações finais são apresentadas, destacando algumas limitações deste artigo e sugestões para futuras pesquisas sobre o assunto.

2 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

Nesta Seção, os referenciais teóricos sobre a filosofia de gestão *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0, bem como suas ferramentas fundamentais, são brevemente abordados.

2.1 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing* teve origem no Japão, quando a indústria automobilística Toyota notou que não seria possível custear a reconstrução de suas instalações destruídas durante a Segunda Guerra Mundial e, mesmo assim, conseguiu fabricar uma grande variedade de produtos e reduzir defeitos, estoques, investimentos e esforços dos trabalhadores (BHAMU; SANGWAN, 2014). Nesse sentido, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, ambos da Toyota, fizeram a integração do conceito de *Just in Time* (JIT) com o respeito pelo ser humano, resultando em uma participação ativa e redução da movimentação dos trabalhadores, precedendo a moderna concepção de *Lean Manufacturing*.

Conforme Stone (2012), a filosofia *Lean Manufacturing* explanada de modo elementar diz respeito à diferenciação entre valor e desperdício, nomeando valor como aquilo que satisfaz as conformidades do cliente no momento certo com um preço conveniente e, desperdício, como toda ação humana que não agrega valor. Logo, ser *Lean* é incessantemente constatar e eliminar os desperdícios nos processos ao passo que se mantêm as operações que agregam valor (STONE, 2012; BHAMU; SANGWAN, 2014).

A efetivação do *Lean Manufacturing* demanda alguns princípios fundamentais, como: sistema puxado, manufatura celular, mapeamento do fluxo de valor, nivelamento da produção, fluxo de peça única (lote unitário), *kanban*, balanceamento de linha, conceito de linha em U, troca rápida de ferramentas e percepções dos colaboradores (SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014).

Entende-se por mapeamento do fluxo de valor, a estruturação dos fluxos de materiais e informações ao longo de toda a cadeia de suprimentos necessários para a entrega de um determinado produto ao cliente final. Essa ferramenta baseia-se em três pontos cruciais: transformação física, resolução de problemas e gestão da informação. Mediante sua utilização, torna-se possível a identificação das atividades que agregam valor e a supressão das que não são agregadoras de valor ao produto (SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014). Ela oferece um entendimento unificado dos processos em cadeia, antecipando a visualização de fluxos enxutos de valores (LIKER; MEIER, 2007).

Fundamentado na demanda do cliente, o sistema puxado se embasa na requisição de um processo posterior (cliente) para um anterior (fornecedor). Assim, o item é produzido somente quando solicitado pelo cliente, baseando-se na fabricação de pequenos lotes e no emprego do método *kanban*. Dessa forma, quantidade e *mix* de produtos são equilibrados e a

produção segue o ritmo conforme o *takt time*, ou seja, de acordo com o ritmo da demanda de mercado (SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014).

O *kanban* atua na regulação dos níveis de estoques por meio da otimização do fornecimento de componentes, melhorando o uso dos recursos produtivos e reduzindo o *lead time* do produto fabricado (SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014).

Nivelamento da produção, *heijunka*, é entendido como o equilíbrio do *mix* de produtos ou componentes a fim de se produzir todos os itens diariamente, em pequenos lotes, ao longo de um determinado intervalo de tempo (LIKER; MEIER, 2007).

A troca rápida de ferramentas é a mais efetiva técnica quando se trata da otimização do *setup*, sendo crucial para o êxito do *Lean Manufacturing* (SHINGO, 1996). Há a divisão das atividades em tempo de *setup* interno (requer o desligamento da máquina) e tempo de *setup* externo (sem interromper o funcionamento da máquina), sendo a ideia principal, primeiramente, converter *setup* interno em externo e, em seguida, simplificar o *setup* interno para redução de tempo (SUNDAR; BALAJI; KUMAR, 2014).

Para Sundar, Balaji e Kumar (2014), o desequilíbrio na linha de produção pode ser decorrente de mudanças ou variações nos tempos de ciclos dos operadores e máquinas. Para remediar o desequilíbrio, pode-se regular a quantidade de máquinas e trabalhadores ao longo das estações de trabalho, bem como abrir mão do fluxo livre de informações e materiais para atingir a flexibilidade homem-máquina.

De acordo com Liker e Meier (2007), dentro do *Lean Manufacturing*, o fluxo contínuo ou fluxo unitário é o exemplar, conquanto, atingi-lo seja uma tarefa bem complexa. Os autores ainda salientam que ao longo do processo, a movimentação ininterrupta dos itens com o menor intervalo possível de espera entre os estágios e o menor deslocamento, resultará em uma elevada eficiência produtiva.

2.2 INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 representa a Quarta Revolução Industrial, que, assim como as três anteriores, é incentivada por inovações tecnológicas. Seu conceito ainda é complexo e impreciso, mas pode ser descrito como sendo a combinação de CPS conectados aos processos de produção e às cadeias de suprimentos com o uso da IOT, tornando as indústrias completamente computadorizadas e integradas (SREEDHARAN; UNNIKRISSHANNAN, 2017).

Na Indústria 4.0, a inteligência descentralizada ajuda a criar, com a interação dos mundos real e virtual, um gerenciamento independente de processos. Isso significa que o

maquinário industrial não mais apenas processa o produto, mas que o produto interage com essas máquinas para dizê-las exatamente o que deve ser feito (MACDOUGALL, 2014). Esse conceito possibilita que as necessidades individuais dos clientes sejam melhores atendidas, permitindo até que itens únicos possam ser produzidos de maneira rentável.

A Indústria 4.0 é sustentada por nove avanços tecnológicos fundamentais, que são considerados seus pilares e serão definidos brevemente a seguir. Muitas dessas tecnologias já são utilizadas atualmente de modo isolado, mas com o modelo da Indústria 4.0, elas se transformarão em um fluxo produtivo completamente integrado e automatizado, trazendo maior eficiência e mudando a forma como fornecedores, produtores e clientes se relacionam, assim como a interação entre o homem e a máquina (RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.1 Big Data

O termo *Big Data*, popularizado na última década, é utilizado para se referir a conjuntos de dados grandes e complexos demais para serem analisados por meios tradicionais (COBB et al., 2018). No contexto da Indústria 4.0, a coleta e interpretação de dados de diferentes fontes é fundamental para a tomada de decisões em tempo real (RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.2 Computação em nuvem

A computação em nuvem já é utilizada por empresas, porém, apenas como recursos computacionais para armazenamento e compartilhamento de dados, e para alguns *softwares* baseados em nuvem. Com a Indústria 4.0, os processos de produção precisarão de um maior compartilhamento de informações entre os setores da companhia e, ao mesmo tempo, a performance das tecnologias de computação em nuvem serão aprimoradas, alcançando tempos de resposta de poucos milissegundos. Como resultado, as funcionalidades e dados fornecidos por equipamentos serão incorporados à nuvem, permitindo que os sistemas de produção se tornem cada vez mais orientados por dados do processo (RÜSSMANN et al., 2015; TAO et al., 2011).

2.2.3 Cibersegurança

Com a maior conectividade trazida pela Indústria 4.0, a necessidade de proteger os sistemas industriais e as linhas de produção de ameaças cibernéticas aumentará drasticamente (RÜSSMANN et al., 2015). Na indústria 4.0, todos os setores e sistemas estão integrados e, além disso, estão conectados ao mundo externo através da internet e serviços de computação

em nuvem. Essa conectividade pode gerar aberturas de segurança que antes não existiam nas indústrias quando não eram utilizadas redes, visto que os dados eram armazenados localmente e nos próprios dispositivos (VENTURELLI, 2017).

2.2.4 Internet das coisas

A IOT tem o objetivo de ampliar as conexões em rede de objetos, equipamentos, sensores e itens normalmente não considerados como sendo computadores, transmitindo grande volume de dados sobre seus estados e sobre o que os cercam a outros objetos e sistemas conectados a eles. Esses objetos inteligentes exigem mínima ação humana para gerar, trocar e processar informações, pois geralmente estão conectados a recursos remotos de coleta, análise e gerenciamento de dados (SATYAVOLU et al., 2014; ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015; WITKOWSKI, 2017).

Dentro do ambiente industrial a IOT permite o acesso, coleta, análise, comunicação e troca de informações de processos, produtos e serviços de modo a otimizar o valor da produção, melhorar a entrega do produto ou serviço, aumentar a produtividade e reduzir custos e consumo de energia (BOYES et al., 2018).

2.2.5 Manufatura aditiva

Atualmente, as indústrias enfrentam o desafio de aumentar a individualização dos produtos junto da necessidade de elevar a eficiência dos recursos e reduzir o tempo de colocação no mercado (LACHENMAIER; LASI; KEMPER, 2015). O uso da manufatura aditiva, como impressões 3D, está apenas começando a ser adotada nas empresas, que a utilizam principalmente para projetar e produzir componentes específicos. No entanto, no cenário da Indústria 4.0, esses métodos de manufatura aditiva serão amplamente usados para produzir pequenas bateladas de produtos customizados que oferecem características únicas e mais complexas. Além disso, a manufatura aditiva de alta performance diminuirá estoques e distâncias de transporte (RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.6 Realidade aumentada

A realidade aumentada pode desempenhar diversos serviços, como auxiliar na orientação de trabalhos de manutenção, quando o profissional apto não pode estar presente no local, ou no desenvolvimento de novos produtos, criando simulações que facilitam sua visualização e análise. Esses sistemas ainda são pouco introduzidos no âmbito industrial,

principalmente em razão da baixa relação custo-benefício, tanto do *software*, quanto dos equipamentos disponíveis no mercado, mas no futuro, por intermédio da Indústria 4.0, a realidade aumentada poderá ser amplamente utilizada para fornecer aos profissionais informações em tempo real que melhorarão as tomadas de decisões e os procedimentos de trabalho (MOURTZISA; ZOGOPOULOSA; VLACHOUA, 2018; RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.7 Robôs autônomos

Robôs já substituíram trabalho humano na última revolução industrial e são utilizados para a realização de algumas tarefas complexas. Eles estão evoluindo, tornando-se mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Futuramente, eles serão capazes de interagir uns com os outros, trabalhar e aprender com seres humanos, podendo ser adquiridos a custos mais baixos do que os utilizados atualmente na indústria (RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.8 Simulação

A simulação será uma ferramenta fundamental na Indústria 4.0, pois servirá para facilitar a avaliação de melhorias em cenários altamente dinâmicos e complexos (URIARTE; NG; MORIS, 2018). Simulações de produtos, materiais e processos de produção atualmente são utilizadas apenas nas fases de projeto. No futuro, as simulações abrangerão também operações da planta industrial, utilizando dados em tempo real para espelhar o mundo real em um modelo virtual, incluindo máquinas, produtos e pessoas, permitindo que se façam testes e melhorias virtualmente antes da aplicação na planta verdadeira, reduzindo os tempos de *setup* e aumentando a qualidade dos processos (RÜSSMANN et al., 2015).

2.2.9 Integração de sistemas

A Indústria 4.0 enfatiza a ampliação dos sistemas de produção atuais para uma total integração dos sistemas físicos e virtuais. Destacam-se três perspectivas de integração: a vertical, a horizontal e a *end-to-end* (WANG; TÖRNGREN; ONORI, 2015). A integração vertical refere-se à comunicação dos sistemas em diferentes hierarquias, integrando desde os níveis de sensores e controles até os de planejamento corporativo. Na integração horizontal a integração acontece entre as diferentes etapas de produção e planejamento que envolvem trocas de materiais, energia e informações dentro de uma empresa ou até entre diferentes empresas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Já a integração *end-to-end*

conecta toda a cadeia de valor utilizando métodos avançados de comunicação e virtualização, trazendo grande potencial de otimização dos processos (BRETTEL et al., 2014).

3 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa para elaboração deste artigo foi realizada, primeiramente, por meio da leitura de livros sobre *Lean Manufacturing* e Indústria 4.0, cujo objetivo foi obter conhecimentos mais amplos sobre ambos os temas.

A segunda etapa da pesquisa foi a consulta na base de dados Scopus, uma das mais completas e acessadas fontes de informações existentes. Nessa base de dados foi obtida a maior parte dos artigos referenciados, por meio da utilização das seguintes palavras-chave: *Lean Manufacturing, Toyota Production System, Lean Production, Industry 4.0, Interface, Integration, Interdependencies, Smart factory e Fourth industrial revolution*.

Os artigos selecionados durante a pesquisa serviram de base para a fundamentação e desenvolvimento deste artigo.

4 INTERFACE ENTRE O LEAN MANUFACTURING E A INDÚSTRIA 4.0

Após o estudo embasado na fundamentação conceitual do *Lean Manufacturing* e da Indústria 4.0 foi possível verificar que ambos são modelos distintos de gestão da produção, mas que apresentam complementaridades e compartilham os mesmos objetivos gerais de aumento de produtividade e flexibilidade (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018).

O modelo de gestão *Lean Manufacturing* é a base para a implantação da Indústria 4.0 nas empresas (METTERNICH et al., 2017). A Indústria 4.0 veio para complementar a gestão pelo método *Lean Manufacturing* (KOLBERG, ZÜHLKE, 2015). No entanto, Buer, Strandhagen e Chan (2018) apontam que os dois modelos podem fornecer assistência de forma recíproca, pois as tecnologias da Indústria 4.0 podem apoiar durante a eliminação de barreiras às implementações do *Lean Manufacturing*, enquanto que os ambientes de produção que já tenham a cultura do *Lean Manufacturing* são mais propícios a serem modelados e controlados por uma plataforma da Indústria 4.0.

De acordo com Rüttimann e Stöckli (2016), a Indústria 4.0 não torna o *Lean Manufacturing* obsoleto, pois ambos os sistemas de manufatura possuem uma dependência mútua e um domínio específico de aplicação dependendo da variabilidade do produto e do volume de produção.

Na visão de Metternich et al. (2017), independente de qual modelo a organização vai priorizar, o processo será sempre a prioridade número um. A base do *Lean Manufacturing*, como processos eficientes com eliminação das perdas, melhoria contínua, e a criação do fluxo e da produção puxada, se mantém essencial para a implementação da Indústria 4.0. Os autores afirmam que um processo conectado e automatizado, mas que não gera valor, será apenas um processo sem adição de valor e, por isso, dispensável. Por outro lado, um processo que adota a filosofia de melhorias pode ser apoiado pelas tecnologias.

Segundo Kolberg, Knobloch e Zühlke (2017), a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 sobre os métodos do *Lean Manufacturing* origina a Automação Enxuta ou *Lean Automation*. Esse conceito visa a integração das melhores práticas dos dois modelos e um exemplo dessa aplicação é a adição de modernas tecnologias da informação e comunicação no método *kanban*, melhorando a sua eficiência.

Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg, (2016) apresentam as dimensões de gestão do *Lean Manufacturing* e como os conceitos e as tecnologias da Indústria 4.0 podem facilitar a aplicação dessas dimensões. A Tabela 1 mostra o resumo das interfaces identificadas pelos autores.

Tabela 1 - Resumo das interfaces entre o lean, desafios e soluções da indústria 4.0

Dimensões do Lean Manufacturing	Desafios para a implementação do Lean Manufacturing pela perspectiva de integração	Soluções providas pela Indústria 4.0
feedback dos fornecedores	Conhecimentos e recursos limitados	Fabricação colaborativa
	Diferenças nos modelos de negócios, operação e prática da manutenção de dados	Melhores mecanismos de comunicação
		Sincronização de dados
Entregas Just in Time pelos fornecedores	Status de envio dos produtos incompletos	Tagueamento dos itens
	Incompatibilidade na quantidade de itens transportados	Rastreamento sem fios de mercadorias
	Atrasos inesperados durante o transporte	Realocação inteligente da ordem
Desenvolvimento dos fornecedores	Recursos e conhecimentos inadequados	Interfaces padronizadas
	Compatibilidade de equipamentos entre organizações	Organizações virtuais - cooperação sinérgica
Envolvimento dos clientes	Pouca flexibilidade para alteração do produto	Período de congelamento alongado
	Relação entre necessidades e funções	QFD de grande volume
	Obtenção das necessidades exatas dos clientes	Análise de uso
Produção Puxada	Quantidade de material fornecida imprópria	Monitoramento do reabastecimento de material
	Mudanças no cronograma de produção	Rastreamento e atualização do cronograma e do Kanban
Fluxo Contínuo	Erros na contagem de estoques	Acompanhamento de estoques em tempo real
	Falta de capacidade	Subcontratação
	Sistemas de controle centralizados	Tomada de decisão descentralizada
Redução do tempo de setup	Adaptação no processo baseado na experiência humana	Auto-otimização e aprendizado de máquina
		Comunicação entre peças e máquinas
Manutenção preventiva/ Produtiva Total	Nenhum controle de avaria da máquina	Comunicação trabalhador - máquina
	Tempo de resolução de problemas desconhecidos	Avaliação de manutenção automatizada
		Sistema de controle de manutenção preditiva
Controle Estatístico de Processo (CEP)	Ignorância dos operadores	Comunicação entre pessoas e máquinas
	Incapacidade de rastrear variações do processo	Melhor interface homem-máquina
		Rastreamento/integração/gerenciamento de processos
Envolvimento dos trabalhadores	Mecanismos de feedback indevidos	Dispositivos de feedback inteligentes
	Práticas de avaliação de desempenho	Sistema de suporte ao trabalhador
	Monotonia no trabalho	Melhor interface homem-máquina

Fonte: adaptado de Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016).

5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As origens do *Lean Manufacturing* remontam ao período pós-guerra quando o Sistema Toyota de Produção foi concebido com o objetivo de elevar os níveis de eficiência, produzindo cada vez mais com menos. Muitas indústrias em todo o mundo tentaram adotar os seus conceitos, mas poucas organizações tiveram sucesso com as implementações. Aproximadamente 60 anos mais tarde, surge o modelo da Indústria 4.0 alavancado por uma grande evolução das tecnologias, concedendo espaço para a chamada Quarta Revolução Industrial e que vem transformando a forma como a indústria gera valor para o cliente.

As referências consultadas durante esta pesquisa determinam que o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 não são técnicas semelhantes de gestão da produção e tampouco competem entre si. Pelo contrário, são modelos que se complementam.

A implantação dos conceitos de *Lean Manufacturing* constitui um grande desafio para as empresas e as soluções providas pela Indústria 4.0 podem corroborar na perspectiva de integração. Da mesma forma, indústrias que tenham o *Lean Manufacturing* como parte de suas culturas estão mais adequadas para explorar os benefícios das tecnologias da Indústria 4.0.

Sendo assim, foi observado que as tecnologias inovadoras mencionadas podem gerar impactos nas ferramentas conceituais do *Lean Manufacturing*. A Tabela 2 foi elaborada por meio da avaliação dos possíveis impactos em cada conceito do *Lean Manufacturing*, quando correlacionado com as tecnologias da Indústria 4.0. Dessa forma, é importante notar que a automação ou a inovação sem gerar valor para o cliente pode se tornar um desperdício.

Tabela 2 – Impacto da Indústria 4.0 sobre o Lean Manufacturing

Lean	Indústria 4.0	Big Data	Computação em nuvem	Ciber-segurança	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Realidade aumentada	Robôs autônomos	Simulação	Integração de sistemas
Redução de desperdícios	○	●	○	○	○	○	○	●	○	●
Feedback do fornecedor	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●
Just in Time (JIT)	●	○	○	○	●	●	○	○	●	●
Participação do cliente	○	○	○	●	○	●	●	○	●	●
Demanda puxada	●	○	○	○	○	●	○	○	○	●
Fluxo contínuo	○	○	○	○	●	○	○	●	●	●
Troca Rápida de Ferramentas	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○
CEP	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○
TPM	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○
Participação do colaborador	○	○	○	●	○	○	●	○	○	●

Legenda: ○ baixo impacto, ○ médio impacto, ● alto impacto

Fonte: elaborada pelos autores.

Este artigo buscou integrar os conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 e da filosofia de gestão *Lean Manufacturing* por meio de uma pesquisa bibliográfica e é limitado pela

verificação em termos conceituais de ambos os modelos sem análise descritiva de dados quantitativos. Portanto, pesquisas futuras poderiam realizar estudos de casos sobre a adoção de tecnologias inerentes à Indústria 4.0 no contexto de empresas que possuam a cultura do *Lean Manufacturing* implementada ou que estejam em processo de implantação. Uma análise como essa pode correlacionar os dois modelos operando na prática ou ainda verificar se as inovações tecnológicas contribuem de forma efetiva para a superação de barreiras à adesão de práticas do *Lean Manufacturing*.

REFERÊNCIAS

- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 34, n. 7, p. 876-940, 2014.
- BOYES, H.; HALLAQ, B.; CUNNINGHAM, J.; WATSON, T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*, v. 101, p. 1-12, 2018.
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.
- COBB, A. N.; BENJAMIN, A. J.; HUANG, E. S.; KUO, P. C. Big data: More than big data sets. *Surgery*, v. 164, n. 4, p. 640-642, 2018.
- KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion, 2013.
- KOLBERG, D.; KNOBLOCH, J.; ZÜHLKE, D. Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 10, p. 2845-2856, 2017.

KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC – Papers On Line*, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.

LACHENMAIER, J. F.; LASI, H.; KEMPER, H. G. Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess-und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0. In: *Wirtschaftsinformatik*. 2015. p. 1-15.

LIKER, J. K.; MEIER, D. *O Modelo Toyota-Manual de Aplicação: Um Guia Prático para a Implementação dos 4Ps da Toyota*. Bookman Editora, 2007.

MACDOUGALL, W. *Industrie 4.0: Smart manufacturing for the future*. Germany Trade & Invest, 2014.

METTERNICH, J.; MÜLLER, M.; MEUDT, T.; SCHAEDE, C. Lean 4.0—zwischen Widerspruch und Vision. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, v. 112, n. 5, p. 346-348, 2017.

MOURTZISA, D.; ZOGOPOULOSA, V.; VLACHOUA, E. Augmented Reality supported Product Design towards Industry 4.0: a Teaching Factory paradigm. *Education & Training*, v. 2351, p. 9789, 2018.

OLIVEIRA, F. T.; SIMÕES, W. L. A indústria 4.0 e a produção no contexto dos estudantes da engenharia. In: *Simpósio de Engenharia de Produção*. 2017.

ROSE, K.; ELDRIDGE, S.; CHAPIN, L. The internet of things: An overview. *The Internet Society (ISOC)*, p. 1-50, 2015.

RÜSSMANN, M; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, v. 9, 2015.

RÜTTIMANN, B. G.; STÖCKLI, M. T. Lean and Industry 4.0—twins, partners, or contenders? A due clarification regarding the supposed clash of two production systems. *Journal of Service Science and Management*, v. 9, n. 06, p. 485, 2016.

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. 811-833, 2016.

SATYAVOLU, P.; SETLUR, B.; THOMAS, P.; IYER, G. Designing for Manufacturing's 'Internet of Things'. *Technology solutions*, p. 4-14, 2015.

SHINGO, S. *O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia industrial*. 1996. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SREEDHARAN, R.; UNNIKRISHNAN, A. Moving Towards Industry 4.0 : A systematic review. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, v. 117, n. 20, p. 929–936, 2017

STONE, K. B. Four decades of lean: a systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 3, n. 2, p. 112-132, 2012.

SUNDAR, R.; BALAJI, A. N.; KUMAR, R. M. S. A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, v. 97, p. 1875-1885, 2014.

TAO, F.; ZHANG, L.; VENKATESH, V. C.; LUO, Y.; CHENG, Y. Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 225, n. 10, p. 1969-1976, 2011.

URIARTE, A. G.; NG, A. H. C.; MORIS, M. U. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, v. 25, p. 586-593, 2018.

VAIDYAA, S.; AMBADB, P.; BHOSLEC, S. Industry 4.0—a glimpse. *Design Engineering*, v. 2351, p. 9789, 2018.

VENTURELLI, M. *Cibersegurança na Indústria 4.0*. 2017. Disponível em: <<https://marcioventurelli.com/2017/07/21/ciberseguranca-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 37, p. 517-527, 2015.

WITKOWSKI, K. Internet of things, big data, industry 4.0—Innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, v. 182, p. 763-769, 2017.

