

Avaliação da integração entre a abordagem *Lean* e a Indústria 4.0: uma revisão da literatura

Evaluation of integration between Lean and Industry 4.0: a literature review

Luana Rodrigues Pizetta Claudino* - lr.pizetta@gmail.com
Robisom Damasceno Calado* - robisomcalado@id.uff.br

*Universidade Federal Fluminense – (UFF), Rio de Janeiro, RJ

Article History:

Submitted: 2019 - 05 - 28

Revised: 2019 - 06 - 03

Accepted: 2019 – 07 - 05

Resumo: A Indústria 4.0, também conhecida pela 4ª Revolução Industrial, tem disseminado nas organizações um novo conceito de fabricação, o qual enfatiza a conexão inteligente de equipamentos e a independência de controle, mudando o paradigma de interação entre o homem e a máquina. No contexto de adaptação das empresas para a Indústria 4.0, tem-se discutido na literatura sobre a interação deste novo conceito industrial com a abordagem de gestão *Lean*, a qual tem como base a melhoria contínua e a eliminação de desperdícios. No entanto, percebe-se que ainda existem poucos estudos que sintetizem as possíveis aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 integradas com os conceitos *Lean*. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de, a partir de uma revisão da literatura, realizar uma síntese das pesquisas que integram as duas abordagens. A partir desse estudo, foi possível identificar os impactos da Indústria 4.0 em processos *Lean*, como tecnologias da Indústria 4.0 podem beneficiar os processos *Lean* e quais os benefícios a abordagem *Lean* proporciona para a Indústria 4.0. Com isso, identificou-se que há muitos benefícios na integração as abordagens, tanto para aperfeiçoar os processos *Lean*, quanto para direcionar melhor a aplicação da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; *Lean Manufacturing*; *Lean Automation*; Revisão da Literatura

Abstract: The Industry 4.0, also known as the 4th Industrial Revolution, are disseminating at companies a new manufacturing concept, in which emphasize the smart connection between equipments and the independence of control, changing the paradigm of interaction between man and the machine. In the context of companies that are adapting their processes for the industry 4.0, has been discussed at literature the interaction of this new industrial concept with the Lean Management, which are based on the continuous improvement and elimination of waste. However, it is noticed that few papers address a practical application of Lean concepts integrated with technologies of the Industry 4.0. Therefore, the objective of this work is, based on a literature review, to carry out a synthesis of the researches that integrate the approaches. From this study, it was possible to identify the impacts of Industry 4.0 on Lean processes, how Industry 4.0 technologies can benefit Lean processes and what benefits the Lean approach provides for Industry 4.0. With this, it has been identified that there are many benefits integrating these approaches, both to enhance Lean processes and to better perform the industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0; Lean Manufacturing; Lean Automation; Literature Review.

1. Introdução

Nos últimos anos, pode-se perceber frequentes mudanças sendo realizadas por empresas a fim de se manterem competitivas e se destacarem frente aos seus concorrentes (Oliveira, 2017). De acordo com o mesmo autor, ter um processo ágil e comunicação eficaz com os clientes e fornecedores se tornou uma exigência, o que tem impulsionado muitas empresas a investirem em tecnologia de informação e comunicação a fim de atenderem melhor aos seus clientes e melhorarem o desempenho de seus processos.

A partir da globalização, foram desenvolvidas diversas inovações tecnológicas com o intuito de melhorar o desempenho das indústrias, as quais têm se destacado pelo uso da internet como recurso, gerando resultados expressivos para diversas empresas e levando a indústria à sua 4ª revolução. Nessa nova era industrial, percebe-se a concentração no estabelecimento de produtos inteligentes e processos de produção ágeis, flexíveis e em ambientes complexos, permitindo um fluxo de informação eficaz entre humanos, máquinas e produtos (Brettel, 2014).

Segundo Salkin *et al.* (2018), ainda não há um método estruturado para a implantação da Indústria 4.0 e nem todas as possíveis utilidades definidas para as tecnologias em desenvolvimento, no entanto, sabe-se que há uma tendência de que a produção, o controle e o monitoramento dos produtos inteligentes e conectados mudem da produção centrada no trabalho humano para uma produção automatizada em sua totalidade.

Por volta da década de 90, empresas iniciaram a adoção a abordagem *Lean* como forma de aumentar a efetividade no atendimento dos clientes e a eficiência na execução de seus processos, a partir da aplicação de métodos que visam à eliminação de desperdícios e o aumento da produtividade, a fim de realizar a produção com menos esforço humano, menos recursos e menos tempo (Womack e Jones, 2003).

Segundo Singh (2017), há no meio industrial uma discussão sobre a adaptação da Indústria 4.0 para os princípios da abordagem *Lean*, já que ainda há questionamentos sobre o sucesso da aplicação dos conceitos *Lean* em processos automatizados. Em contrapartida, Singh (2017) afirma que a abordagem *Lean* pode ser aplicada em processos automatizados, desde que haja um equilíbrio entre o tipo e o nível de automação a ser implantada.

Segundo Kolberg e Zühlke (2015), a Indústria 4.0 pode não apenas ser integrada à abordagem *Lean*, mas melhorar a produção *Lean*, já que tecnologias da Indústria 4.0

possibilitam o aumento da lucratividade a partir da redução de custos em processos aonde a aplicação das ferramentas *Lean* não atinge a redução de desperdícios em sua plenitude. Segundo Li *et al.* (2017), a Indústria 4.0 tem o potencial de economizar recursos, aumentar a eficiência da produção e proporcionar o aumento da lucratividade.

Além disso, segundo Kolberg e Zühlke (2015) a abordagem *Lean* pode acelerar a transição da Indústria 4.0 da ciência para a realidade. Aplicar a Indústria 4.0 em processo no qual a abordagem *Lean* já é estabelecida pode reduzir os riscos de implantação da tecnologia, já que a produção *Lean* visa tornar os processos enxutos, padronizados e sem desperdícios, facilitando o processo de aplicação e sustentação da tecnologia.

Segundo Leyh (2017), a Indústria 4.0 tem o potencial de alavancar os resultados da implantação da abordagem *Lean*, já que esta visa entender a real demanda do cliente, executá-la em um curto lead time, com poucos recursos e com qualidade e a Indústria 4.0 possibilita executar tudo isso de maneira muito mais eficaz, possibilitando avançar na melhoria dos processos de uma organização. No entanto, Leyh (2017) afirma que essa relação entre a Indústria 4.0 e a abordagem *Lean* tem sido pouco explorada pelas organizações e em pesquisas acadêmicas, o que demonstra que há um campo aberto de pesquisa sobre o assunto.

Considerando o potencial de pesquisa com relação à integração da Indústria 4.0 com a abordagem *Lean*, este trabalho tem como objetivo a realização de uma revisão sistêmica da literatura sobre o tema, a fim de responder as seguintes questões de pesquisa: (a) Quais são os impactos da Indústria 4.0 em processos *Lean*? (b) Como as tecnologias da Indústria 4.0 podem beneficiar os processos *Lean*? (c) Quais são os benefícios de ter um processo *Lean* para a Indústria 4.0?

2. Revisão bibliográfica

2.1 Relevância acadêmica

A fim de avaliar a relevância do estudo na perspectiva acadêmica, foi realizado um levantamento de artigos e capítulos no Portal CAPES, a fim de identificar a quantidade de trabalhos já publicados sobre o tema a partir das palavras-chave: “*Lean Manufacturing*”; “*Industry 4.0*”; “*Industry 4.0 AND Lean*”

Analisando o histórico detalhado das publicações no período de 2013 a 2018 (Figura 1), percebe-se uma crescente na quantidade de artigos que citaram “*Industry 4.0*” e “*Industry 4.0 e Lean*”, sendo respectivamente 61% e 70% do total de artigos que citou os temas foram

publicados entre 2017 e 2018. Considerando que o período de 2013 a 2018 representa 99% dos artigos publicados para as duas palavras-chave, as publicações nos anos 2017 e 2018 representam mais da metade de todas as publicações relacionadas com os temas.

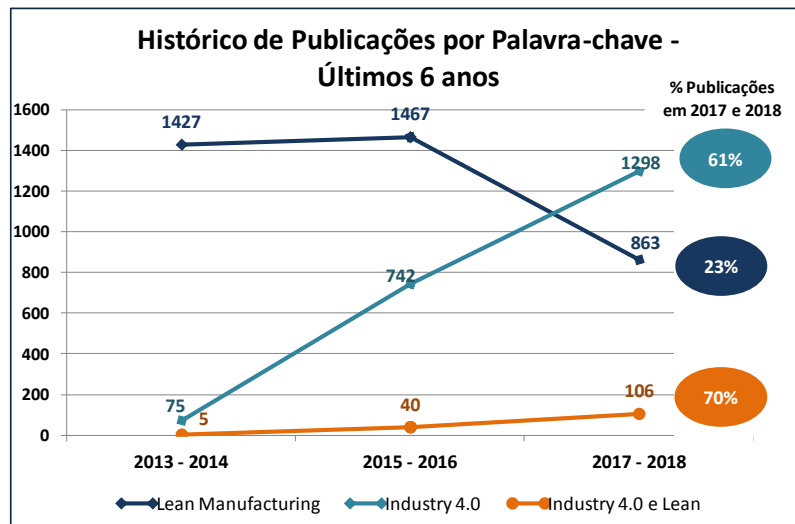


Figura 1: Histórico de publicações por palavra-chave - 2013 a 2018

Fonte: Os autores

No entanto, apesar do percentual significativo de publicações nos anos 2017 e 2018, o número absoluto de publicações que relacionam os termos “*Industry 4.0* e *Lean*” ainda é pequeno, apenas 184 publicações dentre as 2.787 que citaram apenas “*Industry 4.0*” e 681.279 que citaram apenas “*Lean*”, o que representa respectivamente 7% e 0,03% das publicações.

Portanto, analisando a quantidade de artigos já publicados sobre os temas centrais desta pesquisa e o histórico de publicações nos últimos anos, percebe-se que o tema a ser abordado nesta pesquisa é atual, considerando que 99% dos artigos publicados que utilizaram a principal palavra-chave: “*Industry 4.0 AND Lean*” foram publicados nos últimos 6 anos. Além disso, existem apenas 184 publicações no Portal da Capes que relacionam os temas Indústria 4.0 e *Lean*.

2.2. Seleção das referências

A seleção do referencial bibliográfico foi realizada seguindo o método proposto por Moher et al. (2009) e aplicado por Soliman e Saurin (2017), o qual consiste nas seguintes

etapas: identificação, triagem e seleção por relevância. As etapas de seleção executadas para este trabalho estão sintetizadas na Figura 2 e detalhadas abaixo:

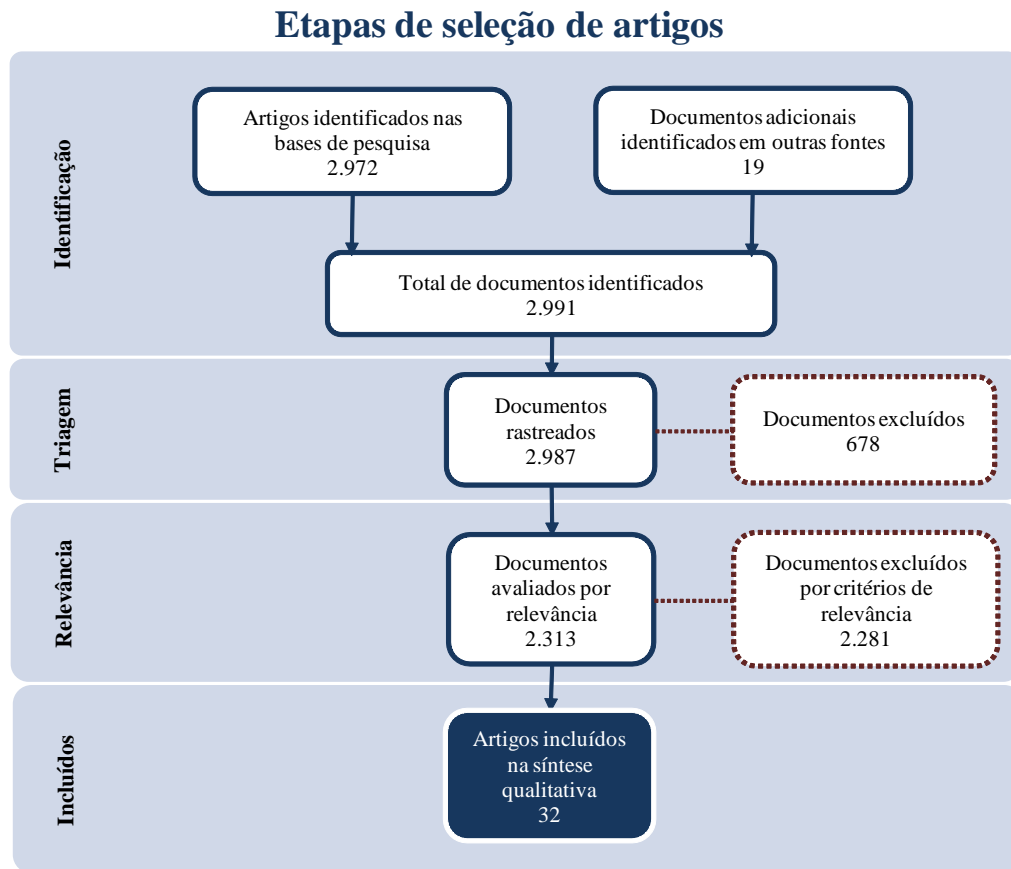


Figura 2: Revisão sistêmica da literatura.

Fonte: Adaptado de Moher et al. (2009)

- **Identificação:** nesta etapa foi realizado o levantamento de periódicos considerando as palavras-chaves definidas: *Industry 4.0 AND Lean; Lean automation; e, Lean digital*. O levantamento de periódicos foi realizado através do Portal da Capes e das bases de pesquisa *Science Direct* e *Compendex*, no qual totalizaram 2.972 periódicos. Além desse levantamento, foram considerados documentos adicionais de outras fontes, os quais foram identificados em referências de outros periódicos e livros adquiridos pelo autor. Considerando esse levantamento, foram identificados ao todo 2.991 periódicos.
- **Triagem:** o processo de triagem consistiu no refinamento dos artigos identificados considerando os seguintes critérios: ano de publicação: apenas publicações a partir do ano 2000 (415 periódicos excluídos); tipo de publicação: apenas livros, teses e artigos de jornal ou congresso (149 periódicos excluídos); idioma: apenas

periódicos em inglês ou português (114 periódicos excluídos). Considerando esses critérios, foram desconsiderados ao todo 678 periódicos, restando para a próxima etapa 2.313 periódicos.

- **Relevância:** essa etapa consistiu na seleção dos artigos aprovados na triagem considerando o critério de relevância com o assunto abordado na pesquisa. Para essa identificação considerou-se o filtro de relevância disponível nas bases e a avaliação qualitativa do autor a partir da leitura do título e resumo dos periódicos. Após esta análise de relevância, 2.281 artigos foram excluídos, portanto 32 artigos foram considerados na revisão bibliográfica desta pesquisa.

2.3. Resultados da Pesquisa

A partir dos artigos selecionados, foi realizada a pesquisa bibliográfica a fim de responder às questões de pesquisa delimitadas nesse estudo.

2.3.1. *Quais são os impactos da Indústria 4.0 em processos Lean?*

A indústria foi marcada por três grandes avanços tecnológicos até os dias de hoje. A Primeira Revolução Industrial iniciou por volta de 1784, a qual foi marcada pela introdução de equipamentos baseados na mecânica hidráulica e a vapor. A Segunda Revolução Industrial marcou a indústria do século 20 com a inserção do processo de produção em massa alimentada por eletricidade e baseada na divisão do trabalho. Por fim, a Terceira Revolução Industrial apresentou nos anos 70 uma ampla aplicação da tecnologia eletrônica e automação contínua do processo de fabricação (Li *et al.*, 2017).

Percebe-se que as três revoluções industriais tiveram um avanço significativo na complexidade das tecnologias e processo produtivo no decorrer do tempo e que, com o aumento dessa complexidade, estamos nos últimos anos avançando para a Quarta Revolução Industrial. Segundo Li (2017), a Quarta Revolução Industrial traz um novo conceito de fabricação, enfatizando a conexão inteligente de equipamentos via rede e a independência de controle. De acordo com Cordeiro (2017), a Quarta Revolução Industrial supera o paradigma da interação entre o homem e a tecnologia.

Segundo Pereira e Romero (2017), a transformação para a Indústria 4.0, caracterizada por avanços tecnológicos inovadores, tem quebrado paradigmas entre o mundo virtual e o

mundo físico, a partir da integração entre trabalhadores, máquinas, sistemas de produção e processos.

Segundo Moraes e Monteiro (2016), a Indústria 4.0 é caracterizada pelo avanço na digitalização e interconectividade entre equipamentos, pessoas, processos e modelos de negócios. Essa integração define o conceito de fábrica inteligente, o qual tem como principal característica um processo com menos interferências e maior eficiência na operação e no fluxo de informação pelo processo.

Considerando uma perspectiva de produção e logística, a Indústria 4.0 pode ser entendida como o movimento inteligente de peças de trabalho que coordenam seus caminhos de modo independente através do processo em uma fábrica. As máquinas são capazes de realizar essas trilhas e se comunicar em tempo real com o armazém inteligente correspondente para visualizar o próximo movimento de fornecimento. Dentre as utilidades, as informações são importantes para avaliar e controlar os processos atuais e evitar transportes desnecessários e perdas de tempo (Leyh, 2017).

Segundo Qin *et al.* (2016), a Indústria 4.0 proporciona como benefício para o processo uma manufatura inteligente, que gera dados e conhecimento, toma decisões de forma autônoma e realiza ações de maneira inteligente. Este impacto no processo ocorre a partir de uma coleta constante de dados do processo produtivo através de tecnologias inteligentes de ponta. Para que esses benefícios sejam alcançados, é necessário realizar a implantação da Indústria 4.0 de maneira gradual e contínua, de modo que o processo passe por estágios de implantação, conforme exemplo da empresa AIMTEC, apresentado na Figura 3 e detalhado abaixo (Benešová e Tupa, 2017):

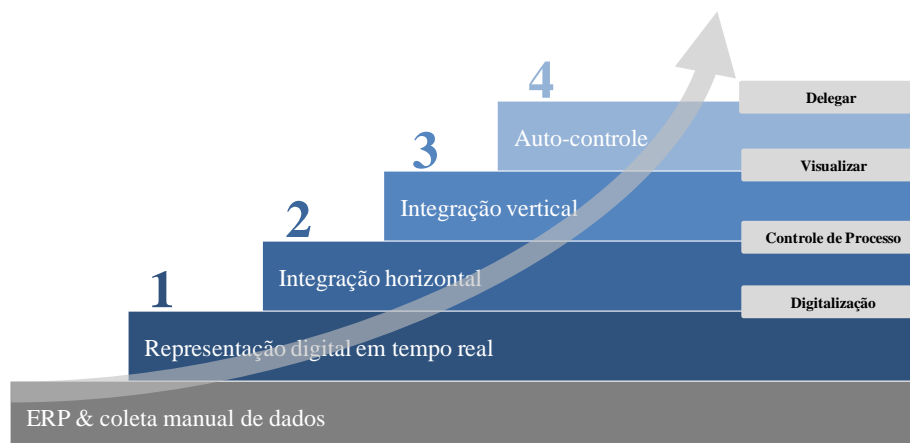


Figura 3: Fases de implantação da Indústria 4.0

Fonte: Adaptado de Benešová e Tupa (2017)

- **Representação digital do processo e dados em tempo real:** a primeira fase consiste na implantação de um sistema de informação no processo, como o sistema ERP. Para esta etapa é imprescindível que o processo esteja mapeado e padronizado, a fim de que o modelo da empresa no sistema de informação seja uma representação da realidade (Benešová e Tupa, 2017).
- **Integração horizontal:** consiste em uma rede colaborativa interna que permite que os dados adquiridos do processo possam ser compartilhados por toda a cadeia de fornecimento, proporcionando flexibilidade de produção e adaptação de rotas e cronogramas para um melhor atendimento à demanda do cliente (Brettel *et al.*, 2014).
- **Integração vertical:** a integração vertical é um dos principais aspectos da Indústria 4.0 citados em pesquisas acadêmicas (Leyh *et al.*, 2017), e consiste na conectividade entre as áreas internas de uma mesma empresa, no qual há troca de informação em tempo real, a partir do processamento dos dados obtidos pelas fases 1 e 2 de implantação (Benešová e Tupa, 2017; Yuan *et al.*, 2017).
- **Sistemas auto-controlados:** neste estágio de implementação a manufatura é semiautônoma, com um sistema auto-otimizável, permitindo que a produção seja executada na produtividade máxima (Benešová e Tupa, 2017). Com este sistema de produção autônoma haverá uma mudança no papel dos operadores para coordenadores e solucionadores de problemas em caso de imprevistos (Brettel *et al.*, 2014).

Diante dessas definições e conceitos da Indústria 4.0, os autores Dombrowski *et al.* (2017), Rüttimann e Stöckli (2016) e Leyh (2017) afirmam que há um grande impacto da Indústria 4.0 nos processos *Lean*, já que a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 em sistemas de produção *Lean* pode melhorar o desempenho do processo, obtendo fluxos de produção e logística mais eficientes.

Segundo Sanders *et al.* (2016), Dombrowski *et al.* (2017) e Kolberg e Zühlke (2015), um dos principais impactos da Indústria 4.0 na aplicação da abordagem *Lean* é a colaboração para redução de desperdícios, e na aplicação dos conceitos de fluxo puxado e padronização. Além do aumento de eficiência e redução de desperdícios nos processos *Lean*, segundo Kolberg *et al.* (2017), a Indústria 4.0 terá um papel importante na adequação da abordagem *Lean* para atender às demandas do mercado por produtos personalizados, a partir de uma produção modular e flexível.

A fim analisar os impactos da Indústria 4.0 nos pilares da abordagem *Lean*, os autores Kolberg e Zühlke (2015) relacionaram os conceitos da Indústria 4.0 de máquina inteligente, produto inteligente, planejamento inteligente e operador inteligente aos princípios do *Lean Just-in-time*, que se refere a produzir de acordo com a solicitação do cliente, tendo o *kanban* como uma das ferramentas de aplicação para gestão do fluxo de informações (Dennis, 2007) e o *Jidoka*, que consiste na criação de dispositivos que evitem a produção de produtos defeituosos, utilizando o *Andon* como sinalização visual da ocorrência de falhas (Ohno, 1997).

A partir da síntese do estudo realizado por Kolberg e Zühlke (2015), ilustrada na Figura, pode-se perceber a interação da Indústria 4.0 com a máquina, o produto, o operador e com o setor de planejamento. Percebe-se que, com o suporte da Indústria 4.0, os pilares de *Just-in-time* e *Jidoka* da abordagem *Lean* podem ser executados de maneira automatizada, integrando as pessoas, os equipamentos e os processos.

A automatização e integração garante uma maior agilidade e assertividade no fluxo de informações do processo, já que o sistema de TI reconfigura de maneira autônoma a programação da produção e atualiza o *kanban*, que sinaliza em tempo real o que deve ser processado pela produção e, na linha de produção o produto já contém todas as informações necessárias para o operador iniciar o processo. Além disso, o próprio equipamento sinaliza ao operador na ocorrência de falhas e, muitas vezes evitam a ocorrência de erros no processo, reduzindo o tempo de paradas com manutenção e aumentando a qualidade do produto (Kolberg e Zühlke, 2015).

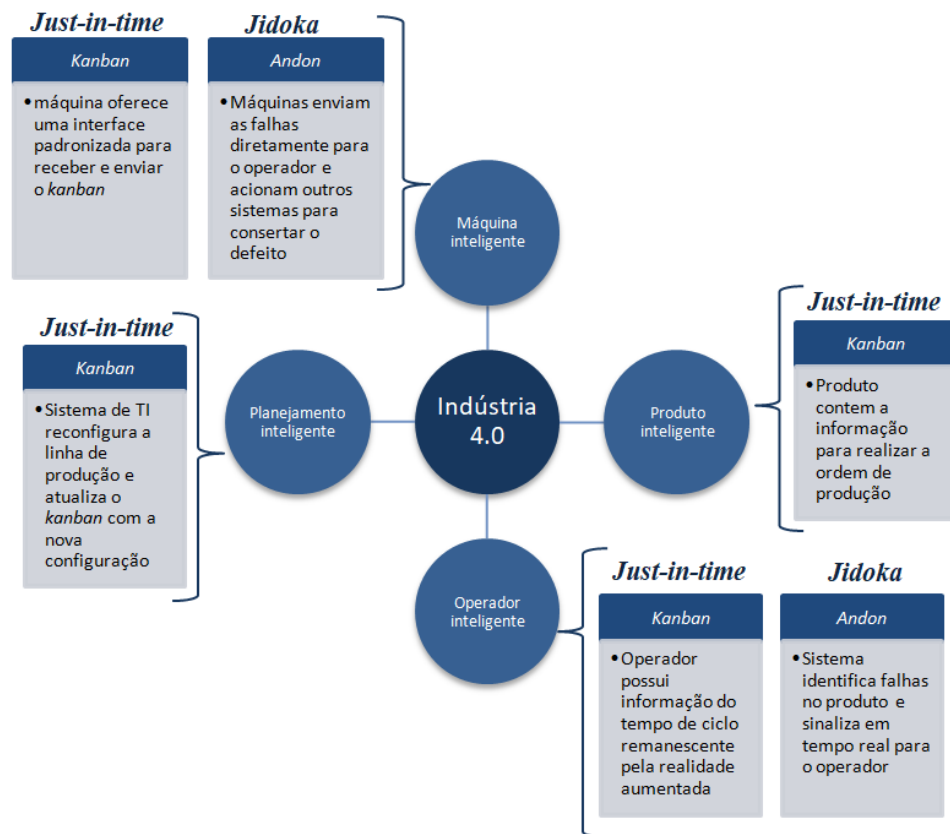


Figura 4: Indústria 4.0 integrada com a produção Lean.

Fonte: Adaptado de Kolberg e Zühlke (2015)

2.3.2. Como as tecnologias da Indústria 4.0 podem beneficiar os processos Lean?

Segundo Dombrowski *et al.* (2017) já estão provadas e declaradas na literatura as interdependências gerais entre a abordagem *Lean* e a Indústria 4.0, mas há uma lacuna na literatura de uma pesquisa que analise de maneira detalhada as interdependências entre o *Lean* e a Indústria 4.0.

A partir desse potencial de aplicações da Indústria 4.0 em processos *Lean* e considerando a necessidade de estudos que avaliem a interdependência entre essas duas abordagens, foi realizada uma revisão na literatura a fim de realizar uma síntese das aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 e seus benefícios na abordagem *Lean*. Esse estudo foi realizado para as tecnologias RFID, MES e SCADA, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1: Aplicações de tecnologias da Indústria 4.0 em processos *Lean*.

<i>Tecnologia Indústria 4.0</i>	<i>Definição</i>	<i>Aplicações em processos Lean</i>	<i>Referências</i>
RFID <i>Radio Frequency Identification Devices</i>	Dispositivo de identificação por radiofrequência, usados para rastrear produtos individuais em toda a cadeia do processo.	<ul style="list-style-type: none"> • E-kanban: sistema de reposição de peças que possibilita a transmissão do número da peça e a localização que exigem reabastecimento, necessitando de pouquíssima interação humana para que o sistema funcione; • Milkrun: consiste em um sistema flexível de fornecimento de material para linhas de produção. Em vez de intervalos fixos, um sistema de TI calcula intervalos de ida e volta para o sistema de transporte com base nos dados de demanda coletados em tempo real. 	(Brettel <i>et al.</i> , 2014) (Satoglu <i>et al.</i> , 2018) (Wagner <i>et al.</i> , 2017) (Mrugalska e Wyrwicka, 2017)
MES <i>Manufacturing Execution System</i>	Sistema de controle de fabricação que permite o gerenciamento de processos com dados em tempo real desde a criação da ordem de produção até a entrega do produto ao cliente.	<ul style="list-style-type: none"> • Milkrun: A partir do MES a ordem de produção é gerada de maneira autônoma e a logística realiza a movimentação interna de matéria-prima considerando o sistema <i>Lean</i> de <i>milkrun</i>. • Heijunka Digitalizado: exibição do nivelamento de produção a partir da utilização de interfaces gráficas conectadas à linha de produção e gerenciada pela tecnologia MES. Com isso, os fluxos de informação e os esforços para atualizar a gestão visual podem ser encurtados; 	(Borlido, 2017) (Wagner <i>et al.</i> , 2017) (Strategic Direction, 2004)
SCADA <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>	Sistema especializado para monitoramento e controle em tempo real, usado para monitorar a condição de um equipamento do ponto de vista da produtividade ou manutenção.	<ul style="list-style-type: none"> • Andon: o sistema SCADA possibilita emitir sinais ao operador na ocorrência de alguma falha durante a produção; • Poka-yoke: a partir do monitoramento e controle autônomo das condições do equipamento, o sistema SCADA funciona como um <i>poka-yoke</i>, evitando a ocorrência de erros no processo. 	(Kolberg e Zühlke, 2015) (Ferro, 2007) (Dennis, 2007) (Oks <i>et al.</i> , 2017) (Ip <i>et al.</i> , 2000)

Fonte: Os autores

Percebe-se, de acordo com o Quadro 1, a aplicabilidade de tecnologias da Indústria 4.0 nos processos enxutos. O RFID proporciona aos sistemas de *milkrun* e *kanban* uma rastreabilidade dos materiais em tempo real, proporcionando uma agilidade e assertividade no gerenciamento e movimentação dos materiais; o MES permite o gerenciamento de processos com dados em tempo real, gerando em tempo real para o sistema *milkrun* a informação do material a ser movimentado, da mesma forma disponibiliza para o *heijunka* uma gestão visual digitalizada do sequenciamento de materiais a serem processados; e, por fim, o SCADA permite o monitoramento e controle em tempo real das condições de equipamentos, gerando

uma automatização para o sistema *andon*, sinalizando em tempo real a ocorrência de falhas para o operador e se integrado com o conceito de *poka-yoke*, pode evitar a ocorrência de erros no processo.

Percebe-se, portanto o quanto a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 pode tornar a produção enxuta mais flexível, ágil e estável. No entanto, para se obter sucesso nessa integração é fundamental que cada tecnologia e ferramenta seja aplicada de maneira correta e estruturada, para que as melhorias sejam eficazes e sustentadas no processo (Rüttimann e Stöckli, 2016).

Diante disso, os autores Bortolotti e Romano (2012), em sua pesquisa sobre automatização no setor de serviços, identificaram uma dificuldade na empresa estudada em definir o melhor momento para a automatização de um processo, havendo o risco de realizar a automatização de erros e desperdícios do processo, os quais poderiam ser eliminados aplicando a abordagem *Lean*.

A partir de um estudo de caso exploratório, os autores Bortolotti e Romano (2012) definiram 5 etapas necessárias para integrar os métodos de automação e digitalização à eliminação de desperdícios, as quais estão detalhadas abaixo (Figura 5):

- Definir e medir: nessa etapa, a equipe envolvida no projeto identifica os requisitos do cliente para o processo a ser melhorado e realiza o mapeamento do estado atual;
- Analisar e desenhar o processo futuro: após ter listado os requisitos do cliente para o processo, são identificadas as fontes de desperdício e desenhado o mapa de fluxo futuro, com as interfaces entre o processo manual e automatizado;
- Desenho do processo automatizado: etapa em que os componentes técnicos e funcionais do processo futuro são mapeados;
- Desenvolver, testar e implantar: desenvolvimento da estrutura física, software e interface;
- Controlar: verificar se as métricas listadas estão sendo atendidas, se não, voltar ao processo inicial e melhorar.

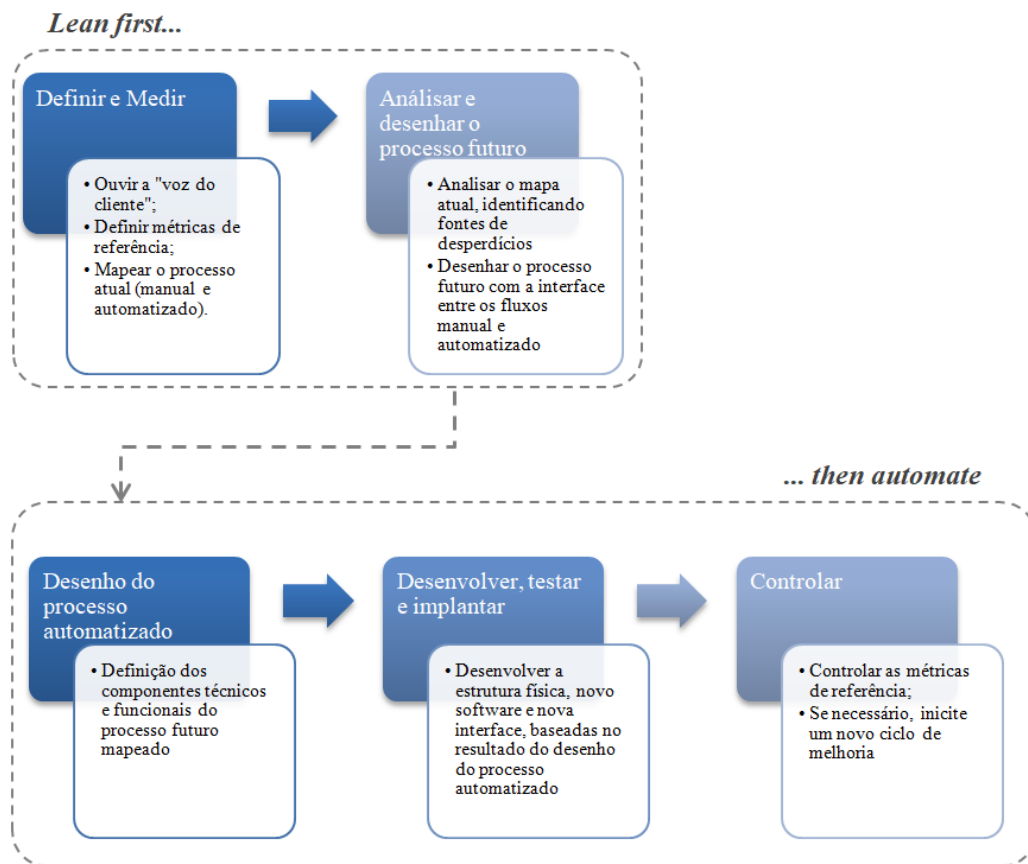


Figura 5: Método *Lean first, then automate*

Fonte: Adaptado de Bortolotti e Romano (2012)

Os autores Bortolotti e Romano (2012) identificaram no estudo de caso realizado que em 100% dos processos analisados, a automatização não levou a nenhum benefício e, em alguns casos a automação era a causa de desperdícios no processo e da redução do desempenho do processo, devido à automação de atividades não padronizadas.

Após a aplicação do método proposto (Figura), foi avaliado que o método permitiu aumentar a eficiência da empresa com redução dos custos operacionais, diminuir o lead time total dos processos e aumentar a satisfação dos clientes, a partir de uma maior percepção de qualidade do serviço.

2.3.3. *Quais são os benefícios de ter um processo Lean para a Indústria 4.0?*

A abordagem *Lean* tem como origem o Sistema Toyota de Produção, desenvolvido em um contexto pós-guerra, no qual a indústria japonesa enfrentou condições de baixa demanda do mercado e escassez de recursos, impactando em uma demanda com muita variedade de

produtos, mas em pequenas quantidades. Esse contexto econômico impossibilitava para a Toyota seguir o modelo Fordista, baseado em uma produção em larga escala e com baixa variedade, o que fez que a Toyota desenvolvesse seu próprio sistema de produção, baseado na eliminação de desperdícios e na produção puxada pelo cliente, ou seja, produzir apenas o que for solicitado, sem gerar estoque (Ohno, 1997).

Após o grande sucesso e destaque da Toyota com seu sistema de produção, foram realizadas pesquisas a fim de entender os princípios do Sistema Toyota de Produção, o qual foi intitulado como *Lean Thinking* (Womack *et al.*, 1992). Womack e Jones (2003) definem a abordagem *Lean* como uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar as atividades sem interrupção e realizá-las apenas quando solicitado pelo cliente e de uma forma cada vez mais eficaz.

Segundo Alefari *et al.* (2017) o termo “*Lean*” se tornou difundido em organizações de diversos segmentos. Podemos encontrar aplicações de *Lean Services*, *Lean Entrepreneurship*, *Lean Software Development*, *Lean Product Development*, *Lean Accounting*, *Lean Startups*, entre outras adaptações da abordagem. No entanto, o objetivo das empresas com essas adaptações da abordagem *Lean* é o mesmo: realizar as atividades com maior eficiência e atender o valor do cliente.

Segundo Salonitis e Tsinopoulos (2016), dentre as práticas e ferramentas *Lean*, as mais destacadas por pesquisadores estão descritas na Figura 6, as quais estão relacionadas com 5 fatores de impacto do *Lean*: relacionamento com o cliente, relacionamento com o fornecedor, Recursos Humanos, planejamento e controle da produção e processo/equipamento.

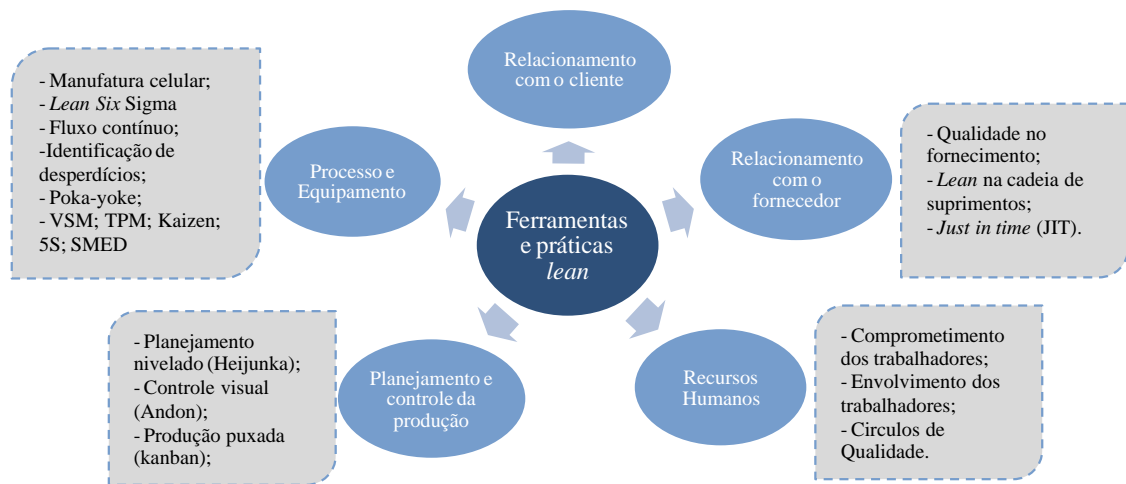


Figura 6: Ferramentas e práticas Lean
 Fonte: Adaptado de Salonitis e Tsinopoulos (2016)

Segundo Alefari *et al.* (2017), embora o termo *Lean*, assim como suas práticas e ferramentas, sejam difundidas no mundo empresarial, a implementação da abordagem ainda apresenta muitos desafios. Salonitis e Tsinopoulos (2016) destacam em sua pesquisa os principais impulsionadores e fatores-chave de sucesso de implantação da abordagem *Lean*, os quais estão detalhados no Quadro .

Quadro 2: Impulsionadores e fatores-chave de sucesso para a abordagem *Lean*

Principais Impulsionadores	Fatores-chave de sucesso
<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a participação de mercado • Aumentar a flexibilidade • Necessidade de sobrevivência com restrições internas • Desenvolvimento de indicadores-chave de desempenho • Desejo de empregar as melhores práticas mundiais • Parte do programa contínuo da organização • Trabalhar com foco no cliente • Requisito do cliente • Requisito da empresa sede 	<ul style="list-style-type: none"> • Cultura organizacional e autonomia • Desenvolvimento da prontidão organizacional • Compromisso e capacidade de gestão • Fornecimento recursos adequados para apoiar a mudança • Apoio externo de consultores em primeira instância • Comunicação e engajamento efetivos • Abordagem estratégica para melhorias • Trabalho em equipe e sistemas inteiros integrados • Definição de prazos realistas para a mudança e tempo para fazer uso efetivo dos compromissos e entusiasmo pela mudança

Fonte: Adaptado de Salonitis e Tsinopoulos (2016)

Percebe-se no Quadro que muitos dos fatores-chave de sucesso estão relacionados com pessoas. Alefari *et al.* (2017) afirma que o envolvimento dos funcionários no processo de implantação do *Lean* é fundamental. Para que todos os funcionários estejam envolvidos, é importante que a gestão engaje seus colaboradores, o que pode ocorrer de diversas maneiras, como treinamento, mentoria, *coaching* etc.

Além dos benefícios que as tecnologias da Indústria 4.0 proporcionam para a abordagem *Lean*, alguns autores afirmam também os benefícios de ter um processo *Lean* na aplicação da Indústria 4.0. Segundo Tortorella *et al.* (2017), com os avanços da Indústria 4.0, a aplicação da abordagem *Lean* tende a se tornar ainda mais relevante no aperfeiçoamento da cadeia de valor para atingir melhores resultados com as tecnologias da Indústria 4.0.

Segundo Dombrowski *et al.* (2017) empresas possuem dificuldade de selecionar as tecnologias da Indústria 4.0 mais promissoras para seus processos. Segundo os autores Dombrowski *et al.* (2017) e Kolberg e Zühlke (2015), a abordagem *Lean* pode constituir a base para a implantação da Indústria 4.0, auxiliando no processo de escolha da melhor tecnologia e implantação de maneira estruturada no processo. A partir de um processo padronizado e enxuto pode-se analisar a real demanda de tecnologias para avançar na melhoria contínua, evitando que tecnologias sejam adquiridas sem necessidade pelas empresas e que a implantação seja realizada em um processo sem a estrutura necessária para a sustentação da mesma.

Além disso, segundo Sanders *et al.* (2017), os conceitos *Lean* de redução de desperdício, padronização e SMED (*Single Minute Exchange of Die*) proporcionam muitos benefícios na implantação e atendimento dos objetivos da Indústria 4.0 (Figura 7). Dentre eles o mais importante é a redução de desperdícios, já que é essencial que o processo esteja enxuto, sem excessivos desperdícios antes de implantar a digitalização. Já a padronização dos processos é fundamental para obter modularidade e interoperabilidade, já que os dispositivos intercambiáveis de sistemas ciber-físicos (Kagermann *et al.*, 2013; Brettel, 2014) necessitam de protocolo padrão para realizar a interface de comunicação integrada e a virtualização manter os padrões de dados consistentes para processamentos adicionais. Da mesma forma, o SMED permite a realização de troca rápida de equipamentos (Shingo, 1985), permitindo a realização do nivelamento de produção (*heijunka*), o qual consiste em um dos objetivos da Indústria 4.0 de realizar o processamento de pequenos lotes (Sanders *et al.*, 2017).

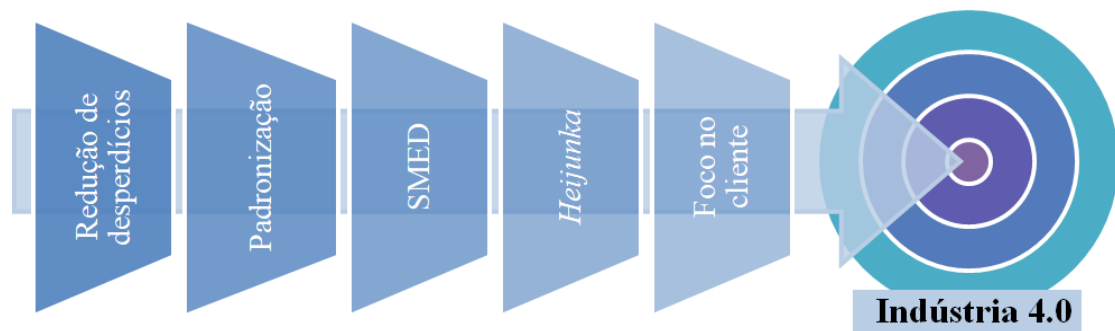


Figura 7: Impacto da abordagem Lean na Indústria 4.0.
 Fonte: Adaptado de Sanders *et al.* (2017) e Dombrowski *et al.* (2017)

Satoglu *et al.* (2018) afirmam que a implantação da Indústria 4.0 por si só não resolve os problemas de uma má gestão do sistema produtivo. Considerando isso, Satoglu *et al.* (2018), Dombrowski *et al.* (2017) e Sanders *et al.* (2017) destacam em seus trabalhos a importância de que os processos sejam executados de maneira eficiente e enxuta antes de iniciar a implantação da Indústria 4.0 no processo produtivo.

Além disso, vale ressaltar a importância do foco no cliente, o qual é considerado como definição de valor no *Lean* (Womack *et al.*, 2003), para que, em conjunto com implementação de redes horizontais e verticais pela Indústria 4.0, haja uma maior integração de clientes e fornecedores no processo de valor agregado (Dombrowski *et al.*, 2017).

Percebe-se, portanto, que a abordagem *Lean* pode proporcionar muitos benefícios para a Indústria 4.0. A partir da pesquisa realizada na literatura, foi elaborada uma síntese no Quadro 3 dos benefícios de conceitos e ferramentas da abordagem *Lean* na Indústria 4.0.

Quadro 3: Benefícios de conceitos e ferramentas *Lean* para a Indústria 4.0.

<i>Conceitos Lean</i>	<i>Definição</i>	<i>Impacto na Indústria 4.0</i>	<i>Referências</i>
Redução de desperdícios	Atividades que não agregam valor para o cliente, como transporte, processamento em excesso, movimentação, superprodução, espera, estoque e defeitos.	Ter um processo enxuto, sem as principais perdas, evita que tecnologias sejam adquiridas sem necessidade pelas empresas e que a implantação seja realizada em um processo sem a estrutura necessária para a sustentação da mesma.	(Kolberg e Zühlke, 2015) (Dombrowski <i>et al.</i> , 2017) (Sanders <i>et al.</i> , 2017) (Dennis, 2007)

Trabalho Padronizado	Definição da mais segura, fácil e eficiente forma de se realizar uma atividade, proporcionando estabilidade ao processo.	Ter um processo padronizado colabora na obtenção do protocolo padrão necessário para realizar a interface de comunicação e manter os padrões de dados consistentes para atualizações. Além disso, implementar o trabalho padronizado significa executar as atividades de maneira eficiente e produtiva, o que é fundamental antes de iniciar a implantação da Indústria 4.0.	(Sanders <i>et al.</i> , 2017) (Satoglu <i>et al.</i> , 2018) (Dennis, 2007)
SMED <i>Single Minute Exchange of Die</i>	Método para redução no tempo de setup entre lotes de processamento.	A partir do SMED é possível realizar a troca de equipamento para processamento de diferentes materiais em menos tempo, o que colabora para um dos objetivos da Indústria 4.0 da produção customizada e em pequenos lotes.	(Sanders <i>et al.</i> , 2017) (Shingo, 1985)
<i>Heijunka</i>	Conceito <i>Lean</i> de nivelamento, ou seja, produzir em pequenos lotes e mix de produtos bem distribuídos.	Contribui para o objetivo da Indústria 4.0 de produção customizada e em pequenos lotes.	(Sanders <i>et al.</i> , 2017) (Smalley, 2004)
Foco no cliente	O foco no cliente significa definir o “valor” para o cliente, ou seja, qual a necessidade do cliente com relação ao produto ou serviço.	A Indústria 4.0 se propõe a realizar uma integração de clientes e fornecedores no processo de valor agregado, a partir de redes horizontais e verticais. Conhecer o valor do cliente é fundamental para melhorar o relacionamento com o mesmo.	(Dombrowski <i>et al.</i> , 2017) (Womack <i>et al.</i> , 2003)

Fonte: Os autores

3. Conclusão

Este estudo consistiu em uma revisão da literatura sobre os temas Indústria 4.0 e *Lean*, a fim de realizar uma síntese das referências que integram as duas abordagens, detalhando as possibilidades de aplicações e benefícios. A partir da revisão na literatura, foi possível identificar os impactos da Indústria 4.0 em processos *Lean*, como as tecnologias da Indústria 4.0 podem beneficiar os processos *Lean* e quais os benefícios de ter um processo *Lean* para a Indústria 4.0.

Diante do estudo realizado, foi identificado que o principal impacto da Indústria 4.0 em processos *Lean* é na redução de desperdícios, seguido do fluxo puxado e padronização. A partir desses benefícios, foi realizada uma síntese das aplicações de três tecnologias da Indústria 4.0 nos conceitos *Lean*. Identificou-se a aplicabilidade das tecnologias RFID, MES e SCADA, no qual o RFID pode ser aplicado na automatização na ferramenta do fluxo puxado *kanban* e no conceito *milkrun* de abastecimento logístico, possibilitando a atualização dos dados de estoque e abastecimento automatizado e em tempo real; o MES (*Manufacturing Execution System*), também possui aplicação no conceito de fluxo puxado, possibilitando uma atualização automatizada do quadro *heijunka*, além de proporcionar o gerenciamento dos dados gerados pelo RFID no *kanban* e sincronizar as ordens de produção com o *milkrun* em tempo real; e, por fim, o SCADA possibilita o monitoramento em tempo real das condições do equipamento, possibilitando a sinalização da ocorrência de falhas no processo, alinhado com o conceito *Andon* do *Lean* e controlar a condição do equipamento que assegure a qualidade esperada, podendo ser relacionado com a ferramenta *poka-yoke* do *Lean*.

Além da contribuição das tecnologias da Indústria 4.0 no avanço dos resultados da abordagem *Lean*, percebe-se com este estudo os benefícios de se ter um processo enxuto para a implantação da Indústria 4.0. Dentre os conceitos *Lean*, ter um processo sem desperdícios é considerado o principal benefício para a implantação da Indústria 4.0. Além da redução de desperdícios, pode-se citar o SMED, *heijunka* a padronização e o foco no cliente, como conceitos e ferramentas *Lean* que contribuem para o atendimento dos objetivos da Indústria 4.0.

Portanto, percebe-se que há muitos benefícios na integração das abordagens *Lean* e Indústria 4.0, tanto para aperfeiçoar os processos *Lean*, quanto para direcionar melhor a aplicação da Indústria 4.0 e colaborar para o atendimento dos objetivos de maneira mais eficiente. Como futuras pesquisas, percebe-se a necessidade de estudos de casos que apresentem uma aplicação real da abordagem *Lean* integrada com a Indústria 4.0 a fim de apresentar os desafios e constatar os benefícios já explorados entre as duas abordagens.

REFERÊNCIAS

- Alefari, M., & Salonitis, K.; Xu, Y. (2017). The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing. *Procedia CIRP*, 63: 756–761.
- Benešová, A., & Tupa, J. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*. 11: 2195–2202.

- Borlido, D. J. A. (2017). Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção. Dissertação de Mestrado. *Universidade do Porto*.
- Bortolotti, T., & Romano, P. (2012). Lean first, then automate: a framework for process improvement in pure service companies. A case study', *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 23(7): 513–522. doi: 10.1080/09537287.2011.640040.
- Brettel, M., et al. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Information and Communication Engineering* 8(1): 37–44.
- Cordeiro, G. A., et al. (2017). Etapas para implantação da Indústria 4.0: uma visão sob aspectos estratégicos e operacionais. *XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Produção*.
- Dennis, P. (2007). *Lean Production Simplified*. New York: Taylor & Francis Group, 192 p.
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. *Procedia Manufacturing*, 11: 1061–1068.
- Ferro J., Jones D., & Womack J. (2007). *Léxico Lean: Glossário Ilustrado para praticantes do Pensamento Lean*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 107 p.
- Ip W. H., et al. (2000). SCADA in an integrated maintenance management system. *J Qual Maint Eng [Internet]*. 6(1):6–19.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V.*, Berlin.
- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a Lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research* 55(10): 2845–2856.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine* 28(3): 1870–1875.
- Leyh, C., Martin, S., & Schäffer, T. (2017). Industry 4.0 and Lean Production – A Matching Relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. 11: 989–993.
- Li, G., Hou, Y., & Wu, A. (2017). Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. *Chinese Geographical Science*. 27(4): 626–637.
- Moher, D. et al. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*.
- Morais, R. R., & Monteiro, R. (2016). A Indústria 4.0 e o impacto na área de operações: um ensaio. In: *Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*, 5., São Paulo. Anais.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering* v. 182: 466–473.
- Ohno, T. *O Sistema Toyota de Produção: Além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150 p.
- Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. (2017). An Application Map for Industrial Cyber-Physical Systems. In: JESCHKE, S.; BRECHER, C.; SONG, H.; RAWAT, D. B. *Industrial Internet of Things: Cybermanufacturing Systems*. Springer Series in Wireless Technology. 21-46.
- Oliveira, L. E. S. (2017). Dissertação de mestrado concepção de um framework para monitoramento e teleoperação de máquinas-ferramenta cnc via internet aderente à Indústria 4.0. *Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia*.
- Pereira, A C, & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13: 1206–1214.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. 2016A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP* 52: 173–178.

- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). 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*, 9(6): 485–500.
- Salkin, C., et al. (2018). A Conceptual Framework for Industry 4.0. In: Ustundag, A.; Cevikcan E. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation [Internet]. *Springer Series in Advanced Manufacturing*. 1-283 p.
- Salonitis, K., & Tsinopoulos, C. (2016). Drivers and Barriers of Lean Implementation in the Greek Manufacturing Sector. *Procedia CIRP* 57: 189–194.
- Sanders, A., et al. (2017). Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing. *Institute of Production Engineering, Helmut-Schmidt-University, Hamburg, Germany*. 514: 341–349.
- 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): 811–833.
- Satoglu S, et al. (2018). *Lean Production Systems for Industry 4.0*. In: USTUNDAG, A.; CEVIKCAN E. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation [Internet]. Springer Series in Advanced Manufacturing. Cap. 3.
- Shingo, S. A. (1985). *Revolution in Manufacturing: the SMED System*. Productivity Press.
- Singh, K. (2017). *Lean Production in the era of Industry 4.0. Logistics Engineering and Technologies Group - Working Paper Series*. Jacobs University Bremen, Campus Ring 1, 28759 Bremen 2017-005.
- Smalley, A. (2004). *Criando o Sistema Puxado Nivelado*. Lean Institute Brasil.
- Soliman, A., & Saurin, T. A. (2017). *Lean production in complex socio-technical systems: A systematic literature review*. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Strategic Direction. (2004). Meeting the manufacturing challenge: Performance advantage of MES. *Strategic Direction*, 20(11): 28-30.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2017). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*.
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on *Lean* Production Systems. *Procedia CIRP*. 63: 125–131.
- Womack, J. P. (2010). *Gemba Walks*. Cambridge, MA USA: Lean Enterprise Institute.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2 ed. Free Press, 400 p.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *A máquina que mudou o mundo*. 14 ed. Rio de Janeiro: Ed Campus, 342 p.
- Yuan, Z., Qin, W., & Zhao, J. (2017). Smart Manufacturing for the Oil Refining and Petrochemical Industry. *Engineering* 3(2): 179–182.