

## AVALIAÇÃO DA INTEGRAÇÃO ENTRE O LEAN MANUFACTURING E A INDÚSTRIA 4.0 NO AMBIENTE PRODUTIVO

Luana Spósito Valamede (IC) e Alessandra Cristina Santos Akkari (Orientadora)

**Apoio:** PIBIC CNPq

### RESUMO

O *Lean Manufacturing* se tornou a principal abordagem para criar processos eficientes na indústria desde o início dos anos 90, sendo amplamente reconhecido e aceito na configuração organizacional. Trata-se da integração rigorosa dos colaboradores no processo de fabricação, focando na melhoria contínua e nas atividades de agregação de valor, evitando o desperdício. No entanto, um novo paradigma chamado Indústria 4.0 surgiu recentemente no setor de manufatura, baseado em sistemas inteligentes e na integração entre máquinas, produtos, dados e informações e indivíduos em toda a cadeia de valor. Então, questiona-se como essas duas abordagens podem coexistir e se apoiar mutuamente na era digital, identificando seus pontos divergentes e as contribuições que um pode acrescentar ao outro. Diante disto, realizou-se uma revisão da literatura como metodologia utilizada no presente estudo, dando enfoque no estudo das ferramentas e práticas enxutas aplicadas no ambiente produtivo, assim como nas principais tecnologias desenvolvidas e em fase de desenvolvimento que permeiam as fábricas inteligentes. Após a padronização de informações, uma matriz de relação foi elaborada, a qual analisou o uso das ferramentas 4.0 voltado para contribuir na redução dos sete tipos de desperdícios característicos dos processos produtivos, prática considerada como um dos princípios base do pensamento enxuto. Como conclusão, compreende-se que enquanto as fábricas inteligentes facilitarão e incentivarão a promoção dos princípios *Lean*, a manufatura enxuta servirá como base para implementação e gerenciamento das mudanças trazidas pela quarta revolução, garantindo a colaboração mútua entre estes dois macro conceitos.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. *Lean Manufacturing*. Tecnologias Emergentes.

### ABSTRACT

Lean Manufacturing has become the leading approach to creating efficient processes in the industry since the early 1990s, being widely recognized and accepted in organizational configuration. This methodology refers to the strict integration of employees in the manufacturing process, focusing on continuous improvement and on value adding activities to avoid wastes. However, a new paradigm called Industry 4.0 has recently emerged in the manufacturing sector, based on intelligent systems and on integration between machines, products, data and individuals across the value chain. This paper builds upon how these two

approaches can coexist and support each other in the digital age, by identification of their divergent points and the contributions they can add to each other. The literature review was performed as methodology, focused on the study of tools and Lean practices applied in the production environment, as well as the main technologies developed and under development that contribute with smart factories. Secondly, a matrix was elaborated to relate Lean Manufacturing and Industry 4.0, which analyzed the use of tools 4.0 aimed to reduce the seven types of production processes wastes, a practice considered as one of the basic principles of Lean Thinking. As a result, it conclude that while smart factories will facilitate and encourage the promotion of Lean principles, Lean Manufacturing will be the basis to implement and manage the changes brought by fourth industrial revolution, which ensuring mutual collaboration between these two macro concepts.

**Keywords:** Industry 4.0. Lean Manufacturing. Emergent Technologies.

## 1. INTRODUÇÃO

As revoluções industriais são populares por trazerem inovações aos modelos de negócio e produção fabril, começando com o surgimento das máquinas a vapor, passando pela descoberta da eletricidade e chegando à aplicação de eletrônica e sistemas na manufatura (RODRIGUES; JESUS; SCHÜTZER, 2016)

Hoje, em plena quarta revolução, a indústria está em transformação a uma velocidade nunca vista antes, alterando a forma como a sociedade trabalha e se relaciona com o meio ambiente (COSTA, 2017; WUNDRACK; MOREIRA; FREIRE, 2017).

Sendo a internet como principal propulsora da era digital, o ambiente organizacional sofrerá profundas mudanças em escala, alcance e complexidade das cadeias produtivas, com base nas tecnologias cada vez mais incorporadas neste meio produtivo (WUNDRACK; MOREIRA; FREIRE, 2017).

Inteligência artificial, computação de alto desempenho, robótica e simulações virtuais são alguns avanços tecnológicos proporcionados pela nova revolução. Embasada nos conceitos de fábrica inteligente (*smart factory*), sistemas ciber-físicos (*cyber-physical systems – CPS*), Internet das coisas (*Internet of Things- IoT*) e Internet de serviços (*Internet of Services – IoS*), a chamada Indústria 4.0 levará à otimização dos processos, ao aumento dos rendimentos e conseqüentemente dos lucros das companhias (THUEMMLER; BAI, 2017).

Os benefícios e as inovações advindas dessas mudanças causarão impactos ainda imensuráveis, colocando em questão se os sistemas de produção aplicados atualmente conseguirão se manter neste novo ambiente produtivo, bem como se integrar com as novas tecnologias (DOMBROWSKI; RICHTER; KRENKEL, 2017; WAGNER; HERRMANN; THIEDE, 2017).

Entre estes sistemas de produção, destaca-se o *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, originado do Sistema Toyota de Produção. Os princípios dessa metodologia são amplamente utilizados em variados setores produtivos, como bens de capital, automobilístico e eletromecânico, sendo esses voltados para a melhoria contínua das atividades organizacionais, focando na eliminação de desperdícios, no fluxo de valor de toda cadeia de produção e na busca pela excelência baseando-se nas perspectivas dos clientes (AUGUSTO et al., 2015; DOMBROWSKI; RICHTER; KRENKEL, 2017; PAOLI; LUCATO; SANTOS, 2016).

Contudo, por ser um sistema desenvolvido nos primórdios da terceira revolução industrial e de seqüência de produção fixa, o *Lean Manufacturing* pode não corresponder às novas necessidades impostas pelo setor produtivo pautado em tecnologias digitais, sendo

limitada sua adequação as futuras cadeias de valor. Sob essa perspectiva, coloca-se em questão se os princípios disseminados pelo *Lean* são passíveis de serem aplicados em harmonia junto com a manufatura avançada. Ademais, isso ocorre ao mesmo passo em que os impactos da atual revolução não estão claramente especificados, necessitando-se de uma avaliação das possibilidades e benefícios associados à implementação da Indústria 4.0 nas organizações (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016; WAGNER; HERRMANN; THIEDE, 2017).

Neste sentido, busca-se esclarecer, no presente estudo, a possibilidade e a forma por meio da qual o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 poderão coexistir, abordando sobre as possíveis adaptações pelas quais poderão passar, seus pontos divergentes e as contribuições que um pode acrescentar ao outro.

## **2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO**

### **2.1. História do conceito *Lean*: o Sistema Toyota de Produção**

O conceito de *Lean Manufacturing* ou *Lean Production*, (WAHAB; MUKHTAR; SULAIMAN, 2013) referido como Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta em português, foi originado na Toyota, automotiva japonesa que passava pelas dificuldades da crise econômica provinda da Segunda Guerra Mundial. Para garantir o desenvolvimento e sobrevivência da empresa, Taiichi Ohno, engenheiro chefe da Toyota, introduziu em 1988 o Sistema Toyota de Produção – STP (*Toyota Production System – TPS*), sendo visto como uma estratégia de negócios voltada para os recursos limitados disponíveis no país. Contrapondo o modelo de fabricação norte-americano, o qual operava com muitas máquinas diferentes e possuía uma grande quantidade de produtos intermediários, esse método enxuto se concentrava na eliminação de todo e qualquer desperdício, capaz de fornecer apenas a quantidade de mercadorias requerida pelos clientes, no tempo necessário e com alta qualidade (BEHROUZI; WONG, 2011; FRITZE, 2016).

O STP visa identificar gargalos nos processos produtivos, assim como encontrar atividades que adicionam atrasos ou custos desnecessários, para que se consiga minimizar os desperdícios juntamente com os fluxos de valor completos. Uma vez que o uso de recursos não esteja agregando valor ao consumidor, a atividade em questão é considerada um alvo para mudança ou eliminação (LATA; SHARMA, 2017).

Durante o desenvolvimento dessa metodologia de produção, Ohno classificou sete tipos de resíduos, tidos como categorias de práticas de fabricação improdutivas, ou seja, que não possuem valor agregado e criam obstáculos na produção, como a adição de custos e o retardamento das tarefas, definidos no Quadro 1 (SOLIMAN, 2017):

Quadro 1: Classificação dos sete tipos de resíduos

<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Definição</b>
<b>Defeitos</b>	Atividades que envolvem reparo ou retrabalho, pertencentes tanto à função central como às de apoio, interferindo na qualidade da produção. A padronização dos procedimentos e o mapeamento de processos minimizam a probabilidade de falhas, fazendo com que os defeitos sejam facilmente identificados e corrigidos no fluxo de valor.
<b>Inventário</b>	Criação de estoques, ou seja, materiais que ficam retidos na fábrica por tempo indeterminado, como matéria-prima, recursos do processo ou o produto final. Advindo pelo estilo de produção, previsão de vendas imprópria ou pelo mau planejamento de aquisição, o inventário desperdiça recursos por meio de custos de armazenamento, investimento e manutenção.
<b>Superprodução</b>	Fabricação de produtos com antecedência que ultrapassa a quantidade demandada, desperdiçando tempo, dinheiro e espaço para armazenamento. Diretamente relacionado com o inventário, as perdas dessa categoria totaliza-se nos gastos de produção do produto somadas com todos os custos gerados pelos estoques.
<b>Transporte</b>	Atividades que envolvem movimentos desnecessários de materiais, geradas pelo layout de fábrica inadequado ou pelo estilo de produção, podendo causar danos no produto além de atrasos nas entregas de encomendas.
<b>Espera</b>	Falta de atividade causada pela ineficácia dos processos, no qual o operador deve permanecer ocioso aguardando a finalização da etapa produtiva anterior. Como exemplos destacam-se a espera de peças para reposição, espera pela inspeção da qualidade e espera devido ao tempo de inatividade da máquina, reparos e manutenção.
<b>Movimento</b>	Medidas desnecessárias tomadas por funcionários e equipamentos, destacando-se a necessidade de um ambiente de trabalho ergonomicamente eficiente, onde o operador possui ferramentas e materiais disponíveis e de fácil acesso, eliminando manuseios ou caminhadas desperdiçadas.
<b>Processamento</b>	Relativo às operações extras que são realizadas durante o processo de fabricação, oriundas da falta do planejamento das etapas produtivas.

Fonte: Autoria Própria (2019)

A compreensão e identificação dessas sete categorias de desperdícios é um pré-requisito fundamental para que ocorra a implantação do fluxo de valor de forma bem-sucedida e eficaz. Uma vez feita a inserção das operações enxutas no ambiente organizacional, focam-se apenas nos processos que respondem à percepção de valor do

cliente, o que elimina o restante dos custos incorridos sem qualquer retorno que interferisse nos investimentos (FOLINAS et al., 2013).

A inserção desse novo método produtivo capacitou a Toyota a competir em um ambiente intenso, marcado pela variação da demanda e pelo baixo crescimento econômico. A escassez de recursos materiais, financeiros e humanos forçou a empresa a escolher a política de redução de resíduos no chão de fábrica como uma meta estratégica a alcançar. Com o sucesso da implementação do STP, a organização japonesa alavancou por conta da alta eficiência na produção, transformando o obstáculo da falta de recursos e uma oportunidade de crescimento e prosperidade (BEHROUZI; WONG, 2011; CABRAL; ANDRADE, 1998; LATA; SHARMA, 2017).

Após a *Toyota Motors Corporation* implementar com êxito o STP, mostrando um aumento notável na produtividade e uma diminuição nos resíduos, os fundamentos propostos por Ohno foram difundidos pelo ocidente. Indústrias de todo o mundo tentaram fazer com que suas fábricas de produção adotassem o modelo para colher os benefícios associados. Recompensas foram reportadas por empresas europeias por meio deste esforço, não apenas nos setores de manufatura, mas também em campos de serviços como o varejo, saúde, viagens e financeiro (CABRAL; ANDRADE, 1998; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

Fora da montadora japonesa, o STP é comumente conhecido como “enxuto” ou “produção enxuta”, sendo esses os dois termos que se tornaram populares devido a publicações de dois *Best-sellers*, “*The Machine That Changed the World*” (WOMACK; JONES; ROOS, 1990) e “*Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*” (WOMACK; JONES, 1996) (LIKER, 2005).

A primeira obra foi desenvolvida a partir de um estudo realizado em 1990 por três pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology – MIT*, o qual intensificou ainda mais a divulgação do novo sistema ao afirmar como este impulsionou a organização japonesa com um desempenho superior no âmbito internacional, referindo-se ao STP como *Lean Production* ou *Lean Manufacturing* (BEHROUZI; WONG, 2011; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016; WAHAB; MUKHTAR; SULAIMAN, 2013).

## **2.2. As principais ferramentas enxutas**

Womack, Jones e Ross (1990) definem o *Lean Manufacturing* como um processo dinâmico norteado por um sistema de princípios e práticas, com o objetivo de alcançar a melhoria contínua por meio da eliminação de desperdícios (LIMA et al., 2016).

A popularização da abordagem *Lean* fez com que esta, antes focada apenas em reduzir o número de práticas improdutivas, abrangesse diversos outros aspectos da

fabricação a partir das fases que constituem o ciclo de vida das mercadorias, como desenvolvimento de produtos, aquisição e fabricação para distribuição (WYRWICKA; MRUGALSKA, 2017).

Para colocar em prática a filosofia que permeia o *Lean Manufacturing*, torna-se necessário um esforço conjunto de todos os colaboradores de uma instituição, para que ações sejam implementadas no ambiente organizacional e, posteriormente, trabalhem de maneira integrada de forma a estabelecer o sistema de manufatura enxuta. Nas subseções a seguir, serão detalhadas as ferramentas *Lean 5S*, *Kanban*, *Poka-Yoke*, Mapeamento do Fluxo de Valor, *Kaizen*, *TPM*, *SMED* e *Andon*, consideradas de maior importância e notoriedade para este estudo.

### **2.2.1. 5S**

Os “5S” representam as iniciais de cinco palavras de origem japonesa que, ao abordarem a cultura e costumes familiares do país, representam as atitudes de comportamentos essenciais para se obter a Qualidade Total e a produtividade nas ações desenvolvidas pelos colaboradores de uma corporação. Visando criar hábitos que facilitam a rotina para exercer as funções diárias nos setores produtivos, esta ferramenta *Lean* estimula o trabalho em equipe e traz benefícios aos trabalhadores, valorizando-os como profissionais e seres humanos (MARTINS; FERREIRA; MARTINS, 2016).

### **2.2.2. Kanban**

Advinda da palavra japonesa que significa “cartão”, o sistema *Kanban* é uma ferramenta *Lean* que pode atingir um estoque mínimo a qualquer momento. Inserida com sucesso em várias empresas japonesas, esse sistema de manufatura enxuta economiza custos ao eliminar a produção em excesso, desenvolver estações de trabalho flexíveis, reduzir o desperdício e minimizar tanto o *lead time* como os gastos de logística (RAHMAN; SHARIF; ESA, 2013).

### **2.2.3. Poka-yoke**

Partindo-se do pilar *Jidoka* do STP, a inteligência humana das máquinas provém do uso extensivo de sistemas *poka-yokes* (à prova de erros), sendo esses dispositivos que previnem e detectam perdas de qualquer origem, desde produtos defeituosos a acidentes de trabalho, parando automaticamente a linha produtiva quando necessário. Essa ferramenta *Lean* contribui para a redução da variabilidade, além de manter a estabilidade e o controle dos processos produtivos (ZHANG, 2014).

### **2.2.4. Mapeamento do fluxo de valor**

O Mapeamento do Fluxo de Valor - MFV (*Value Stream Mapping – VSM*) é uma maneira padronizada de documentar todos os processos envolvidos na transformação de recursos em resultados finais, abrangendo desde a concepção e a entrega das matérias-primas pelo fornecedor até o lançamento do produto ou serviço comercializado. O fluxo de valor é constituído por todas as ações atualmente necessárias na linha produtiva, sendo as de valor agregado bem como as não agregadoras. A representação visual desse fluxo permite com que se consiga analisar sistemicamente os processos que permeiam os vários níveis de uma estrutura de produção, a fim de eliminar os resíduos, agilizar as tarefas de trabalho, reduzir o *lead time* e os custos, e aumentar a qualidade (ELLINGSEN, 2017).

### **2.2.5. Kaizen**

Para realizar mudanças e adaptações que se estabilizem de forma rápida e fácil em seus sistemas produtivos, a ferramenta *Kaizen* é uma alternativa vislumbrada pelas instituições, uma vez que essa é capaz de ser planejada em um curto espaço de tempo e com alto foco de implementação. Composta pelas palavras japonesas “Kai”, que significa *mudança*, e “zen”, que significa *para melhor*, a filosofia *Kaizen* promove pequenas melhorias feitas como resultado de um esforço contínuo. Ao envolver a participação dos colaboradores de todos os níveis hierárquicos da empresa, a melhoria a longo prazo é alcançada com a contribuição gradativa dos mesmos na direção de padrões de trabalho mais exigentes (MAAROF; MAHMUD, 2016).

### **2.2.6. Manutenção Produtiva Total**

O fato de ocorrerem grandes perdas e desperdícios no chão de fábrica, os quais interferem negativamente no tempo e nos recursos disponíveis, assim como na reputação das empresas, faz com que conceitos que defendam a tolerância zero para defeitos e resíduos se tornem um pré-requisito na indústria da fabricação e montagem. Nesse contexto, a manutenção preventiva, antes considerada como um processo que não agregava valor à linha produtiva, é vista atualmente como uma atividade essencial para garantir um ciclo de vida mais longo das máquinas em um setor. Devido a essa importância, o conceito revolucionário da Manutenção Produtiva Total vem sendo adotado pelas organizações de maneira expressiva, com o objetivo de melhorar a produtividade e a qualidade, além de motivar os colaboradores e contribuir com a satisfação do trabalho (SINGH et al., 2013).

### **2.2.7. Single Minute Exchange of Dies – SMED**

*Single Minute Exchange of Dies - SMED*, traduzida como “Troca Rápida de Ferramentas”, foca na redução de tempo de *setup* das máquinas, ou seja, o período que compreende a produção da última peça boa de um determinado lote até a produção da



primeira peça boa do lote seguinte. Esse tempo entre lotes é frequentemente gasto na limpeza, na troca de componentes dos equipamentos, ou na configuração do próximo produto a ser fabricado. Introduzido pelo consultor da Toyota Shigeo Shingo, essa ferramenta *Lean* defende a troca rápida como o ponto chave para reduzir o tamanho dos lotes de produção e, conseqüentemente, melhorar o fluxo (KARAM et al., 2018).

### **2.2.8. Andon**

Sendo largamente utilizado nas fábricas para melhorar a qualidade dos produtos, o *Andon* é considerado a base para o pilar *Jidoka* do STP. Provinda do termo em japonês que significa “lâmpada”, essa ferramenta *Lean* constitui-se em um luminoso com linhas de números que correspondem às estações de trabalho ou máquinas, tendo o papel de auxiliar na gestão de controle visual de anormalidades nas linhas produtivas. Ao mostrar o status real de uma operação em um determinado posto de trabalho, incluindo quantas máquinas estão em operação e as ferramentas que estão defeituosas, o *Andon* é útil para detectar problemas nessa estação de produção (BIOTTO et al., 2014; KAMADA, 2007).

## **2.3. Caracterização da Indústria 4.0**

A Quarta Revolução Industrial, que começou na primeira década do século XXI e segue até hoje, traz avanços tecnológicos que mudarão os rumos da indústria, do mercado e do consumo nos próximos anos, destacando-se a inteligência artificial, computação de alta performance, manufatura aditiva, robótica e sensores cada vez menores e potentes (MAYR et al., 2018)

Sendo um processo de modernização, a revolução conta com a digitalização e sua incorporação em processos industriais, garantindo melhorias no aproveitamento, aumento dos rendimentos e maximização da lucratividade das organizações. Essa transformação, que impacta na competitividade, na sociedade e na economia, foi denominada por integrantes do governo alemão em uma conferência de imprensa durante o evento “Hannover Trade Fair” de 2011 pelo termo *Indústria 4.0* (PICCININI, 2017).

No evento, ao descrever as expectativas e mudanças para este novo cenário, o recém-formado “Grupo de Trabalho Indústria 4.0” acredita que, no futuro, as organizações estabelecerão redes globais que incorporem suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção na forma de sistemas ciberfísicos. Esses sistemas, juntamente com as fábricas inteligentes, *IoT* e *IoS*, constituem os principais pilares que sustentam a atual revolução (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015; THUEMMLER; BAI, 2017).

Considerado um dos pontos essenciais da Indústria 4.0, o sistema ciberfísico objetiva a fusão dos mundos digital e real, por meio de integrações de computação e processos físicos. Consiste na colaboração das entidades computacionais que estão em conexão

intensiva com o mundo físico ao redor e com seus processos em curso, fornecendo e usando, ao mesmo tempo, o acesso e os serviços de processamento de dados disponíveis na internet. Decorrente da nova lógica de produção, a fábrica inteligente (*smart factory*) é constituída pela integração vertical de vários componentes, a fim de implantar um sistema de fabricação flexível e reconfigurável. Sua estrutura incorpora terminais de controle de rede industrial que supervisionam os objetos inteligentes de chão de fábrica, como máquinas, transportadores e produtos. Isto permite com que o sistema ciberfísico monitore toda a cadeia de produção, identificando defeitos e fazendo correções por meio de decisões autônomas e cooperação entre agentes, levando a um alto nível de eficiência. (NAVICKAS; KUZNETSOVA; GRUZAUSKAS, 2017; WANG; LI; ZHANG, 2016)

Nesta fábrica inteligente, os objetos físicos e digitais, que se comunicam e cooperam entre si e com humanos em tempo real através de uma rede sem fio, formam a Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT) em inglês. Como uma evolução natural da IoT, as empresas também seguirão a abordagem da *Internet of Services* (IoS), ao construir e fornecer um grande número de novos tipos de serviços, combinando aqueles que estão disponíveis separadamente na *Web* para formar serviços agregados de valor acrescentado e perceptível para o cliente (COSTA, 2017).

Muitos dos avanços tecnológicos que formam a base da Indústria 4.0 já são usados atualmente na manufatura, porém, no contexto dos sistemas ciberfísicos, essas novas tecnologias serão capazes de transformar a produção, unindo células isoladas em um fluxo totalmente integrado e automatizado, além de evoluir as relações entre fornecedores, produtores e clientes, bem como entre humanos e máquinas (RÜSSMANN et al., 2015).

No presente trabalho, serão estudadas as tecnologias *Big Data e Analytics*, robôs e veículos autônomos, simulação virtual, cibersegurança, serviços e armazenamento em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada, consideradas as de maior importância e notoriedade para este estudo (FRAZIER, 2014; HARRIS; SIMPSON, 2016; KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; MAYR et al., 2018; ROMERO et al., 2016; SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).

#### **2.4. Combinação conceitual entre os sete tipos de desperdícios com as tecnologias 4.0**

A partir do princípio básico do *Lean Manufacturing* de eliminação de todas as atividades que consomem tempo e recursos, bem como não adicionam valor para a cadeia produtiva e para o produto final, foram classificados sete tipos de desperdícios tradicionais conforme demonstrados na seção 2.1 desse estudo, consistindo em defeitos, inventário, superprodução, transporte, espera, movimento e processamento desnecessário. Na seção

2.2, foram definidas as ferramentas *Lean* consideradas de maior notoriedade neste estudo a fim de identificar e eliminar os sete tipos de desperdícios característicos.

Partindo-se da premissa de estudo de analisar as tecnologias oriundas da Quarta Revolução que, juntamente com as metodologias enxutas, podem ser empregadas na eliminação de resíduos em sistemas de manufatura avançados, esse trabalho desenvolveu uma matriz de relação (Quadro 2) que apresenta quais as tecnologias 4.0 (compreendendo na *Big Data e Analytics*, robôs e veículos autônomos, manufatura aditiva, armazenamento em nuvem, cibersegurança, simulação virtual e realidade aumentada) que contribuem para a minimização dos sete tipos de desperdícios tradicionais.

Dentre as ferramentas emergentes abordadas, evidenciam-se os robôs e veículos autônomos como a que impacta na minimização de um maior número de desperdícios, totalizando seis relações. Na perspectiva dos resíduos, a classificação de defeitos é vista como a mais minimizada pelas tecnologias emergentes, também apresentando seis relações. Sendo robôs e veículos autônomos, *Big Data e Analytics* e manufatura aditiva as três tecnologias 4.0 que apresentaram maior número de relações segundo o Quadro 2, essas ferramentas possuem seus pontos de sinergia explicados e ilustrados por meio de diagramas de relações, consistindo nas figuras 1 a 3.

Quadro 2: Matriz de relação entre os sete desperdícios *Lean* tradicionais com as tecnologias 4.0

Desperdícios	Tecnologias 4.0						
	<i>Big Data e Analytics</i>	Robôs e Veículos autônomos	Manufatura aditiva	<i>The Cloud</i>	Cibersegurança	Simulação virtual	Realidade Aumentada
Defeitos	X	X	X		X	X	X
Inventário	X		X				
Superprodução	X	X					
Transporte	X	X				X	X
Espera	X	X	X	X		X	
Movimento		X		X			X
Processamento		X	X	X	X		

Fonte: Autoria Própria

#### 2.4.1. Robôs e veículos autônomos

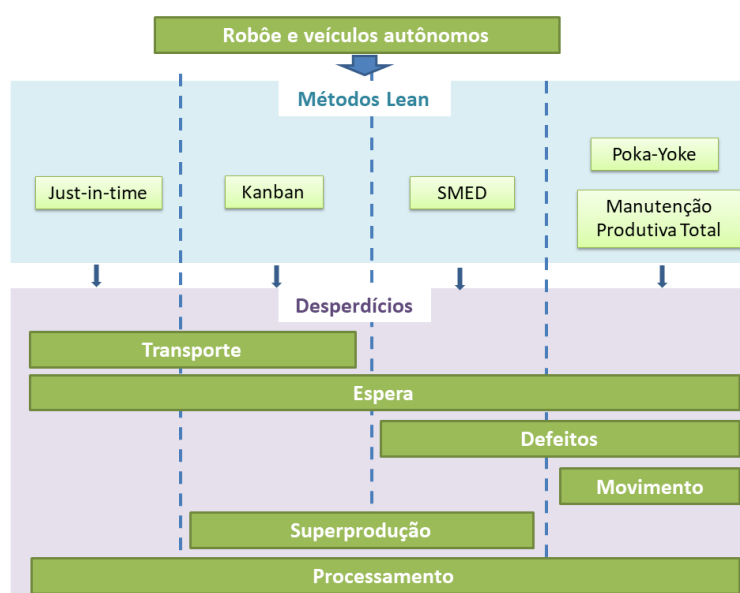
Esses equipamentos inteligentes, sendo um aspecto importante das fábricas 4.0, são capazes de se adaptarem a condições ambientais dinâmicas nos processos de manufatura por meio de tomada de decisões descentralizadas, além de atuarem de maneira conjunta com os trabalhadores nas linhas produtivas, contribuindo com a redução dos desperdícios de várias naturezas, conforme ilustrado na Figura 1.

Mayr et al. (2018) apontam que os veículos guiados automaticamente reduzem viagens humanas desnecessárias ao realizar o transporte de materiais de acordo com o fluxo produtivo, tornando a logística automatizada e de acordo com os princípios *Just-in-time*. Esse reabastecimento imediato também apresenta como consequência a redução de estoque e diminuição de espaço ocupado por materiais, sendo uma contribuição para os sistemas *Kanban* de produção puxada pela demanda.

Os robôs inteligentes estão aptos a identificarem possíveis falhas na linha produtiva, além de notificarem o problema para o *cloud computing* e se ajustarem automaticamente em relação a essas irregularidades, atuando de maneira conjunta com os colaboradores na prevenção de erros. Esses benefícios, atrelados ao histórico de falhas desenvolvido pelas próprias máquinas, promovem uma melhor gestão da manutenção produtiva total e na atuação de mecanismos *Poka-Yoke*.

Kolberg, Zuhlke (2015), indica que, além de preservar a segurança da cadeia produtiva, esses dispositivos são flexíveis a ponto de se adaptarem de acordo com o produto que está sendo fabricado, facilitando a produção variável e em lotes pequenos.

Figura 1: Relação entre os robôs e veículos autônomos com os sete tipos de desperdícios



Fonte: Autoria Própria (2019)

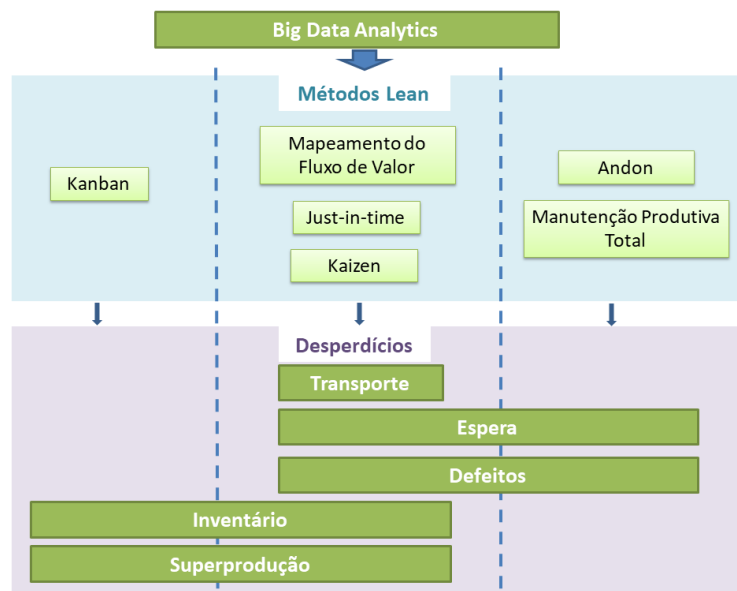
#### 2.4.2. Big Data Analytics

Atrelado à IoT e ao *Cloud computing*, o *Big Data Analytics* também é aplicado nos sistemas de manufatura; ao receber os dados provindos dos dispositivos e armazenados na nuvem, essa tecnologia emergente os interpreta e os transforma em informações por meio de técnicas analíticas. Assim, de acordo com Sanders, Elangeswarn, Wulfsberg (2016), essa tecnologia facilita a previsão de falhas nos processos e reduz erros acerca do fluxo de

matérias-primas, da contagem de itens indevida e da escassez da capacidade produtiva, contribuindo para um modelo de produção *Just-in-Time* e de melhoria contínua.

A integração holística entre os setores e a troca de dados em tempo real feitas pelo *Big Data* diminui o tempo entre a ocorrência até a notificação de falha de equipamentos, auxiliando o sistema *Andon* de qualidade, além de corroborar para um sistema auto-organizado, onde o nível de estoque possa ser reduzido ao mínimo e o mapa de fluxo de valor seja atualizado com novas informações constantemente, conforme sintetiza a Figura 2. Mayr et. al. (2016) indica que a análise dos dados auxilia o planejamento das atividades de manutenção, o que propicia as máquinas serem autoconscientes e autossuficientes.

Figura 2: Relação entre o *Big Data Analytics* com os sete tipos de desperdícios



Fonte: Autoria Própria (2019)

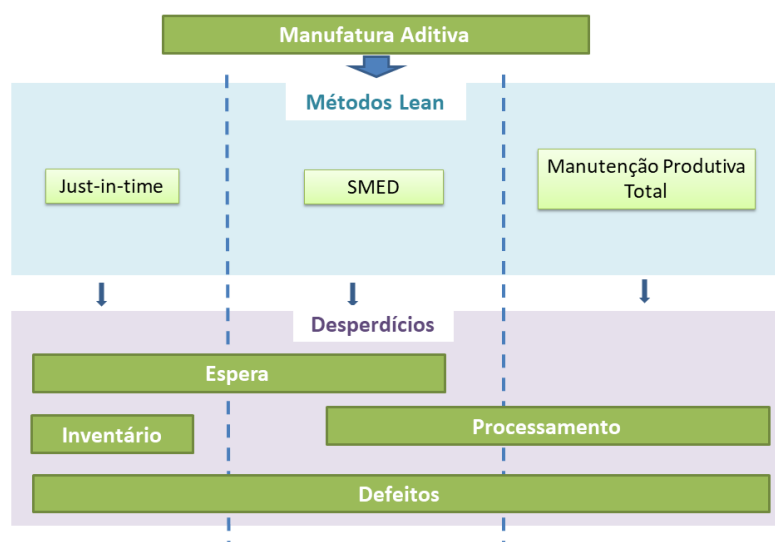
### 2.4.3. Manufatura aditiva

Ao relacionar a manufatura aditiva com os sete desperdícios característicos, a Figura 3 aponta relações com espera, inventário, processamento e defeito. De fato, Frazier (2014) introduz que esse tipo de produção favorece a criação de pequenos lotes, indicando como vantagem de redução de grandes inventários e consequentemente custos relacionados ao armazenamento de materiais. O autor também caracteriza a manufatura aditiva como veloz e adaptável, o que contribui para a diminuição de tempos de espera.

Além de diminuir o *lead time*, Mayr et. al. (2018) afirmam que, como os processos de fabricação não são específicos para cada peça produzida, o tempo de configuração da máquina é igualmente reduzido. Essa tecnologia emergente também facilita os procedimentos de manutenção, uma vez que estende o controle e os serviços centrados no produto para processamentos além da fabricação.

A manufatura aditiva permite a fabricação de produtos personalizados de acordo com as necessidades específicas de cada consumidor, atingindo as condições adequadas de complexidade de *design*, o que minimiza a possibilidade de fabricação de peças defeituosas ou que não atendam as características especificadas. Além disso, essa inovação é capaz de produzir o volume exato de produtos demandados pelo cliente, o que contribui para a redução de itens em estoque. Por fim, a criação do produto pela adição de material por meio de uma máquina (como a impressora 3D) evita com que o produto passe por etapas de processamento que não agregam valor e, conseqüentemente, por períodos de tempo improdutivo (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018).

Figura 3: Relação entre a manufatura aditiva com os sete tipos de desperdícios



Fonte: Autoria Própria (2019)

#### 2.4.4. Armazenamento em nuvem (*The Cloud*)

A Internet das Coisas, por meio de sensores e tecnologias de comunicação sem fio, fortalece a integração entre os sistemas físicos de um sistema de manufatura. A computação em nuvem, por sua vez, consiste em máquinas, computadores e equipamentos interconectados e virtualizados, contribuindo com o compartilhamento de dados entre diferentes dispositivos. Atuando de maneira conjunta, *Cloud computing* e IoT, podem aumentar a percepção inteligente, a comunicação em uma base *Machine To Machine - M2M* e o uso sob demanda e eficaz dos recursos (USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018).

De fato, segundo o estudo elaborado por Sanders, Elangeswarn, Wulfsberg (2016), o compartilhamento de dados em tempo real propiciado por essa tecnologia emergente melhoram as rotas de viagem, a pontualidade das entregas de materiais e os processos relacionados à logística, corroborando para uma gestão *Just-in-time*. A troca constante de informações também contribui para a atualização constante do mapa de valor, o que agiliza

no gerenciamento do fluxo assim como na percepção de novos gargalos e, conseqüentemente, estimula a melhoria contínua.

Além disso, a nuvem é capaz de receber notificações de robôs e máquinas inteligentes acerca de falhas encontradas nos processos produtivos, o que favorece a identificação de erros e geração de possíveis soluções para prevenção de novas falhas, auxiliando na lógica dos dispositivos *Poka-Yoke*. Mayr et. al. (2016) argumentam que, uma vez constatado o erro, a ferramenta 4.0 alerta as equipes de produção e de manutenção; enquanto o primeiro grupo reorganiza o cronograma de suas tarefas, o segundo se concentra em corrigir o problema encontrado, ambas ações que resultam em menos tempo de inatividade e promove um maior controle da qualidade dos processos.

#### **2.4.5. Cibersegurança**

De fato, os mecanismos *Poka-Toke* objetivam encontrar e eliminar as condições anormais nos fluxos produtivos para impedir outputs de itens defeituosos. Nesse contexto, Harris; Simpson (2016) destaca a utilização desses dispositivos em operações de uso de hardware para prevenção de falhas. O mesmo ocorre com as novas linhas de produção que atendem o SMED, caracterizadas por representarem uma produção flexível com estações de trabalho modulares baseadas em interfaces físicas e de TI padronizadas, aumentando a flexibilidade de produção enquanto preserva qualquer pré-precaução para segurança e preservação de propriedades intelectuais.

Além disso, tratando-se da cibersegurança, ao se analisar os riscos cibercinéticos enfrentados fábricas inteligentes, evidencia-se a eficiência e redução de custos como uma das possíveis áreas impactadas, uma vez que os *websites* estão continuamente sob pressão para reduzir os custos de operação (WASLO et al., 2017).

#### **2.4.6. Realidade Aumentada**

A realidade aumentada, ao propiciar a integração de objetos virtuais 3D no ambiente físico e em tempo real, pode ser empregada para a visualização das instruções de trabalho, atividades de manutenção, especificações de peças ou de produtos qualificados e dados atualizados do fluxo produtivo, auxiliando os trabalhadores no esclarecimento de dúvidas e em processos de tomada de decisão, o que se torna essencial para garantir a melhoria contínua. Com isso, essa tecnologia ajuda a eliminar os movimentos feitos pelos colaboradores considerados desnecessários, ao indicar qual a rota no ambiente de trabalho mais eficiente para se transportar os materiais, o que de acordo com o estudo de Kolberg, Zuhlke (2015), propicia um fluxo contínuo de produção seguindo a lógica *Just-in-Time*.

Romero et. al. (2016) complementam que a realidade aumentada pode habilitar sistemas digitais *Poka-Yokes*, o que instrui os profissionais de forma a não realizarem

atividades que envolvem reparo ou retrabalho e reduz a incidência de defeitos. Já Mayr et. al. (2018) concluem que os trabalhadores também usufruem dessa tecnologia 4.0 na orientação para seguir os cinco passos que constituem o 5S; com o uso dos displays, são indicados onde cada equipamento deve ser guardado após o uso, estimulando a organização e padronização dos processos.

#### **2.4.7. Simulação virtual**

O modelo de simulação das fábricas e processos de fabricação pode ser construído primeiramente em um ambiente virtual para quantificar e observar os projetos de sistemas e mapas de fluxo de valor alternativo, auxiliando na identificação das melhores alternativas de layout para estabelecer um transporte de peças adequado, reduzir os desperdícios de materiais e tempo e propiciar a melhoria contínua. Esse benefício, de acordo com Mayr et. al. (2018), implica diretamente no planejamento de novos projetos *Kanban* em tempo real, atualizando dados como tamanho do lote, estoque e frequência de entrega. Como consequência, o uso dessa tecnologia emergente reduz os *lead times*, assim como padroniza os procedimentos e mapeia os processos para minimizar a probabilidade de falhas.

Os mesmos autores destacam também o uso dessa ferramenta 4.0 nas atividades de manutenção, uma vez que auxilia aos colaboradores em situações de treinamento e em instruções de manutenção, deixando-os aptos e ágeis para solucionar os defeitos encontrados nos maquinários e equipamentos.

#### **2.5. Restrições e dificuldades de integração entre o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0**

As seções anteriores apontaram os possíveis benefícios gerados a partir da integração entre a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing*, contribuindo para um maior desempenho das futuras organizações inteligentes. Apesar de terem sido identificadas correlações positivas entre essas duas abordagens, alguns autores ressaltam fatores tidos como limitadores para realizar tal combinação. Estudos apontam que as metodologias enxutas alcançam seu limite em ambientes complexos de manufatura, os quais são característicos da quarta revolução; isto se torna um empecilho para a inovação criativa (KOLBERG; ZÜHLKE, 2015; MA; WANG; ZHAO, 2017).

Uma pesquisa sugere a seguinte problemática de que a implantação de uma produção centrada na manufatura enxuta, sendo baseada no ser humano ou na alta automação para melhorar a flexibilidade dos sistemas é, por si só, insuficiente para atender a demanda atual e crescente pela produção em massa de produtos personalizados e complexos. Como solução, propõe-se a combinação de ferramentas *Lean* e os princípios



da Indústria 4.0 para desenvolver um sistema *Jidoka* inteligente e descentralizado baseado no CPS, uma vez que a automação enxuta que utiliza sistemas ciberfísicos é considerada uma abordagem econômica e eficaz para melhorar a flexibilidade do sistema sob condições econômicas globais cada vez menores (MA; WANG; ZHAO, 2017).

Segundo esse estudo, a principal dificuldade encontrada para realizar essa combinação foi resultado da falta de uma arquitetura compreensível que suporte à integração entre o *Jidoka* e CPS. Uma vez que as redes de trabalho e protocolos da IoT são heterogêneos e complexos, a análise de dados e capacidade de decisão de suporte que o *Jidoka* apresenta são considerados limitados para atuar nas fábricas inteligentes (MA; WANG; ZHAO, 2017).

Outro artigo destaca que a customização em massa é um dos principais pontos que garantem vantagem competitiva às organizações; nesse contexto, os sistemas *Lean*, apesar de se mostrarem flexíveis e eficientes, apresentam uma capacidade de resposta lenta. Levando isso em consideração, conclui-se que as fábricas inteligentes e o ambiente proporcionado pela Indústria 4.0 serão os responsáveis para efetuar a implementação da estratégia de customização em massa (YIN et al., 2017).

A título de exemplificação, a empresa Xiaomi, fabricante chinesa de *smartphones*, utiliza uma plataforma colaborativa de trabalho por meio da IoT e IoS, a qual permite com que seus clientes se comuniquem com a equipe técnica e com os fornecedores de *hardware/software*. Por meio dessa interação, a empresa se baseia nas opiniões de seus consumidores para desenvolver e lançar produtos com novos designs, além de disponibilizar serviços online (YIN et al., 2017).

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho objetivou estudar a possibilidade de integração entre os conceitos de Indústria 4.0 e *Lean Manufacturing*, abordando seus pontos convergentes e divergentes para entender como as metodologias *Lean*, já amplamente conhecidas e utilizadas no ambiente produtivo, poderiam ser combinadas com as tecnologias oriundas da nova revolução industrial. Apesar da crescente popularidade do termo Indústria 4.0, os trabalhos literários que contemplam a sua relação com as ferramentas enxutas ainda são recentes e escassos, o que enfatiza a importância de se compreender tal associação.

Com base na pesquisa bibliográfica para padronização de informações, as definições, ferramentas e práticas que caracterizam o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 foram identificados e interpretados para que, posteriormente, fosse avaliado o potencial de integração entre esses dois conceitos. Para tal, foi desenvolvida a matriz de relação que

consistiu na contribuição das tecnologias emergentes para redução dos sete tipos de desperdícios tradicionais.

Contabilizados 26 pontos de sinergia, benefícios adquiridos com o uso das ferramentas emergentes, tais como a integração entre os processos da cadeia produtiva, comunicação eficiente, logística automatizada e estações de trabalho modulares propiciam um melhor gerenciamento dos processos e a minimização de gargalos. Assim, por meio de sistemas integrados de informação, as deficiências das práticas convencionais podem ser superadas para melhorar a produtividade e eliminar desperdícios.

Uma vez demonstrada a integração entre a Indústria 4.0 e o *Lean Manufacturing* e considerando as restrições apontadas acerca da complexidade limitada e lentidão por parte do sistema *Lean*, pode-se concluir que, enquanto os métodos e princípios *Lean* ressaltam a simplicidade e padronização dos processos organizacionais ao visarem o controle, planejamento e a melhoria contínua, o que facilita a entrada de novas tecnologias e soluções nos fluxos produtivos; as ferramentas 4.0 impulsionarão as práticas enxutas por serem capazes de coletarem e processarem dados variados e volumosos com alta velocidade e segurança.

#### 4. REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, P. et al. A implantação do sistema de manufatura enxuta em um processo produtivo: Um Estudo de Caso em uma Indústria Eletromecânica. **Fatec**, p. 1–13, 2015.
- BEHROUZI, F.; WONG, K. Y. Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. **Procedia Computer Science**, v. 3, p. 388–395, 2011.
- BIOTTO, C. et al. Uso Adaptado De Andon Em Um Empreendimento Horizontal. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 2902–2911, 2014.
- CABRAL, R. H. Q.; ANDRADE, R. S. DE. Aplicabilidade do Pensamento Enxuto. **Anais eletrônicos da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, n. art 393, 1998.
- COSTA, DA C. Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional. **POSGERE - Número Especial Automação**, v. 1, n. 4, p. 5–14, 2017.
- 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.
- ELLINGSEN, O. Commercialization within Advanced Manufacturing: Value Stream Mapping as a Tool for Efficient Learning. **Procedia CIRP**, v. 60, p. 374–379, 2017.
- FOLINAS, D. et al. Exploring the Greening of the Food Supply Chain with Lean Thinking Techniques. **Procedia Technology**, v. 8, n. Haicta, p. 416–424, 2013.
- FRAZIER, W. E. Metal additive manufacturing: A review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917–1928, 2014.

- FRITZE, C. The Toyota production system. n. January, p. 52, 2016.
- HARRIS, S.; SIMPSON, B. Human Error and the International Space Station: Challenges and Triumphs in Science Operations. **SpaceOps 2016 Conference**, n. 1, p. 1–13, 2016.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. n. 01, p. 16, 2015.
- KAMADA, S. Como Operar um “ andon ”. **Lean Institute Brasil**, n. Figura 1, p. 1–17, 2007.
- KARAM, A. A. et al. The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p. 886–892, 2018.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 3, p. 1870–1875, 2015.
- LATA, S.; SHARMA, K. M. Implementation of Lean Thinking in Manufacturing and Non-Manufacturing Sectors: a Review. **International Journal of Lean Thinking**, v. 8, n. 2, p. 49–64, 2017.
- LIMA, D. F. S. DE et al. Mapemamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas lean em uma empresa calçadista. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 366–392, 2016.
- MA, J.; WANG, Q.; ZHAO, Z. SLAE–CPS: Smart lean automation engine enabled by cyber-physical systems technologies. **Sensors (Switzerland)**, v. 17, n. 7, 2017.
- MAAROF, M. G.; MAHMUD, F. A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises. **Procedia Economics and Finance**, v. 35, n. October 2015, p. 522–531, 2016.
- MARTINS, G. H.; FERREIRA, R. L.; MARTINS, S. S. F. Implementação do programa 5S no setor de manutenção: um estudo de caso na indústria de embalagens no Brasil. **Journal of Lean Systems**, v. 1, n. 2, p. 57–74, 2016.
- MAYR, A. et al. Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 72, p. 622–628, 2018.
- NAVICKAS, V.; KUZNETSOVA, S. A.; GRUZAUSKAS, V. Cyber-Physical Systems Expression in Industry 4.0 Context. **Financial and Credit Activity-Problems of Theory and Practice**, v. 2, n. 23, p. 188–197, 2017.
- PAOLI, F. M. DE; LUCATO, W. C.; SANTOS, J. C. D. S. Implantação da Manufatura Enxuta e a Cultura Organizacional: Estudo de Múltiplos Casos. **Exacta**, v. 14, n. 1, 2016.
- PICCININI, L. a Indústria 4.0 E Os Novos Paradigmas Da Relação Entre Produção E Consumo: Implicações Para a Organização Do Trabalho Na Indústria Do Vestuário. **13º colóquio de moda**, p. 1–15, 2017.
- RAHMAN, N. A. A.; SHARIF, S. M.; ESA, M. M. Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. **Procedia Economics and Finance**, v. 7, n. Icebr, p. 174–180, 2013.
- RODRIGUES, L. F.; JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. Industrie 4.0 – Uma Revisão da Literatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 38, p. 33–45, 2016.

ROMERO, D. et al. Towards An Operator 4.0 Typology: A Human-Centric Perspective On The Fourth Industrial Revolution Technologies. **International Conference on Computers & Industrial Engineering (CIE46)**, p. 1–11, 2016.

RÜSSMANN, M. et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. **Business and Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 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. 811–833, 2016.

SINGH, R. et al. Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. **Procedia Engineering**, v. 51, n. December 2012, p. 592–599, 2013.

SOLIMAN, M. H. A. A Comprehensive Review of Manufacturing Wastes : Toyota Production System Lean Principles. **Emirates Journal for Engineering Research**, v. 22, n. 2, p. 1–10, 2017.

THUEMMLER, C.; BAI, C. Health 4.0: Application of Industry 4.0 Design Principles in Future Asthma Management. In: **Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. p. 23–37.

USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Springer S ed. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2018.

WAGNER, T.; HERRMANN, C.; THIEDE, S. Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 125–131, 2017.

WAHAB, A. N. A.; MUKHTAR, M.; SULAIMAN, R. A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. **Procedia Technology**, v. 11, n. Icteei, p. 1292–1298, 2013.

WANG, S.; LI, D.; ZHANG, C. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158–168, 4 jun. 2016.

WASLO, R. et al. Industry 4.0 and cybersecurity - Managing risk in an age of connected production. **Deloitte University Press**, p. 1–24, 2017.

WUNDRACK, R.; MOREIRA, F.; FREIRE, P. Industria 4.0: Competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. **International Congress of Knowledge and Innovation - Ciki**, 2017.

WYRWICKA, M. K.; MRUGALSKA, B. Mirages of Lean Manufacturing in Practice. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 780–785, 2017.

ZHANG, A. Quality improvement through Poka-Yoke: from engineering design to information system design. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 8, n. 2, p. 147, 2014.

**Contatos:** luana.valamede@gmail.com e alessandra.akkari@mackenzie.br