

## 1. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem como objetivo explicar em que se baseia a Indústria 4.0, tendo-se para isso, recorrido a bases de dados literárias. A Revisão Sistemática da Literatura aqui presente, vai explicar primeiramente em que consiste a manufatura enxuta, uma vez que, para se chegar à Indústria 4.0 é necessário explicar como esta surgiu e de onde proveio. Numa segunda etapa, procedeu-se a caracterização da Indústria 4.0 e da sua relação com a manufatura enxuta, evidenciando as vantagens e desvantagens da integração das duas em ambientes de produção. Por fim, iremos enunciar quais as principais conclusões dos autores que abordaram esta temática da relação entre os dois conceitos, isto com o objetivo de deixar esclarecido, não só para mostrar em que ponto se encontra a pesquisa, mas também quais as linhas futuras para próximas pesquisas no que diz respeito a integração da Indústria 4.0 na manufatura enxuta. A Indústria 4.0 tem-se tornado cada vez mais relevante nas práticas de manufatura enxuta, na medida em que se admite que a integração de ambas as práticas melhora significativamente o trabalho desempenhado. Contudo, admite-se haver ainda pouca informação sobre as vantagens que a Indústria 4.0 conduz para a manufatura enxuta, uma vez que, existem mais suposições sobre os efeitos positivos, do que casos reais que comprovem o aumento do desempenho no trabalho, pela junção das práticas da Indústria 4.0 com as práticas de manufatura enxuta. A tecnologia é cada vez mais imprescindível no dia-a-dia do ser humano, daí que a Indústria 4.0 tenha sido criada com o intuito de adaptar as tecnologias às práticas de manufatura enxuta, facilitando o trabalho desempenhado, detecção de erros, melhoria de produção, etc. O presente artigo tem como intuito uma revisão sistemática da literatura para perceber em que ponto a pesquisa da Indústria 4.0 se encontra, permitindo facilitar o trabalho de possíveis investigadores, para saber de que forma podem atuar perante a presente temática.

O conceito de manufatura enxuta/lean manufacturing tem como base as necessidades do cliente, que devem ser fornecidas na hora certa, no lugar certo e na quantidade certa. A adoção de uma filosofia de gestão enxuta por parte da empresa tem como objetivo eliminar o desperdício em todo o processo da mesma, assim como, no atendimento aos clientes. Tendo em conta estudos recentes, a manufatura enfrenta uma mudança em direção às práticas de manufatura enxuta devido aos custos reduzidos, menores tempos de processamento e processos mais eficientes. Dita transição é necessária para que as empresas avaliem seu nível manufatura enxuta em toda a empresa, permitindo à gestão informações para revelar os seus aspetos fortes e fracos.

A Manufatura Enxuta é uma filosofia (Bhasin e Burcher, 2006) que permite que as indústrias tenham um desempenho melhor, usando os princípios de melhoria contínua e mudando a cultura organizacional. Além disso, a manufatura enxuta ajuda na redução do desperdício (Bhamu e Singh Sangwan, 2014), causando um aumento na qualidade e respondendo rapidamente à procura do cliente. A universalidade da manufatura é tal que suas implicações podem ser claramente vistas no melhor negócio e desempenho operacional da empresa (Nawanir et al., 2013).

O termo Indústria 4.0, caracteriza uma indústria cujas principais características são compreendidas por: máquinas conectadas, produtos, sistemas inteligentes e soluções inter-relacionadas. Estes aspetos são reunidos para montagem de unidades de produção inteligentes baseadas em computadores integrados, assim como, possivelmente, por componentes digitais que monitorizam e controlam os dispositivos físicos. A Indústria 4.0 visa uma produção autônoma e dinâmica, que integra Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), possibilitando assim produções em massa de produtos altamente customizados.

Durante o decorrer do presente artigo, as práticas de manufatura enxuta poderão ser designadas de práticas “lean” ou de “manufatura”.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 MANUFATURA ENXUTA

Nos últimos trinta anos, a manufatura enxuta tem sido uma palavra da moda e a mesma teve o seu início no “Sistema Toyota de Produção”, que foi gradualmente desenvolvido após a Segunda Guerra Mundial (Fortuny-Santos et al, 2020). Na década de 1970, o sistema referido, era conhecido em inglês como manufatura “Just in Time”, uma vez que, um dos seus objetivos é produzir os produtos necessários, nas quantidades certas, da mesma forma que são exigidos (Sugimori et al., 1977). Depois do termo “lean production” se ter tornado popular, muitas empresas adotaram a manufatura enxuta (ou pelo menos algumas práticas), com o intuito de aumentar a produtividade, o desempenho financeiro e o desempenho do mercado, seguindo o caminho de sucesso da Toyota (Shah e Ward, 2003; Yang et al., 2011). A manufatura enxuta ou lean manufacturing, foi criada com o intuito de atingir a sustentabilidade aprimorada das organizações de manufatura, no mercado global competitivo (Zahraee et al., 2014b). Em geral, o pensamento enxuto pode ser implementado em toda ou parte da empresa, bem como em toda a cadeia de fornecimento, incluindo desenvolvimento de produto, aquisição, distribuição e serviço (Hines, Holweg e Rich 2004). Apesar de poder ser aplicado em qualquer nível, a qualquer altura, o habitual é começar a aplicar as práticas de pensamento enxuto no “chão da fábrica”, isto é, no patamar mais baixo da indústria (Shah e Ward 2007), de modo a introduzir gradualmente os princípios deste método no nível corporativo (Mann 2005).

Rinehart et al (1997), referem que desde 1960, que as iniciativas “lean” provaram ser as estratégias de manufatura mais significativas para o desenvolvimento das organizações em todos os setores. Para além da manufatura, Maguad (2007) realça que enxuto significa produção sem desperdício, e o objetivo da manufatura enxuta é alcançar a mais alta qualidade de produção, com o mínimo custo. Womack e Jones (1994), garantem que a manufatura enxuta é um modelo integrado ou sistema coerente composto por ferramentas e técnicas diferenciadas, que trazem melhoria contínua na gestão de qualidade, produção e abastecimento. Mais tarde (1996), referiram que o princípio Lean é a extinção de atividades sem valor agregado e o aumento do trabalho nas atividades com valor agregado, tendo em conta as necessidades dos clientes. Segundo Womack et al (1990), a manufatura enxuta tem como intuito reduzir desperdícios e atividades que não concedam valor agregado. Na mesma linha de pensamento, Chavez (2015), diz que tal se manifesta por processos simplificados, estáveis, padronizados, fluxo de produtos, tempos de configuração, funcionários envolvidos em melhoria contínua, entre outros. Estes fatores podem melhorar várias áreas, como o desempenho operacional, qualidade do produto, custo de produção, prazo de entrega, flexibilidade e confiabilidade (Marodin e Saurin, 2013).

O principal objetivo da manufatura enxuta é ter um fluxo de processo simplificado para que os produtos sejam fabricados de acordo com os requisitos dos clientes com pouco ou nenhum desperdício (Shah e Ward 2003; Vinodh e Joy 2012).

No artigo de Valamede et al (2020), são identificadas algumas ferramentas da manufatura enxuta, tais como:

Tabela 1: Ferramentas de manufatura enxuta

JIT (Just-in-Time)	Corresponde a um dos pilares dos Sistemas de produção Toyota, visando produzir apenas o essencial na hora, data e quantidade necessária, e ao contrário dos processos tradicionais, ele puxa a produção ao longo da cadeia de suprimentos, processando materiais apenas se a próxima operação os exigir (Valamede L.S., Akkari A.C.S., 2020). Do ponto de vista da dependência de todo o sistema, o JIT permite vantagens a fim de reduzir problemas com superprodução, transporte, tempo de espera, movimento excessivo de recursos e defeito do produto (Mayr et al., 2018; Sanders et al., 2016).
Kanban	O sistema Kanban pode atingir um stock mínimo a qualquer momento (Valamede L.S., Akkari A.C.S., 2020). Essa ferramenta faz com que os processos e materiais fluam através dos cartões que representam

	uma sequência de pedidos e recursos no chão de fábrica, enquanto registam as principais informações do fluxo de produção eficiente (Kolberg e Zühlke, 2015).
Poka-Yoke	Dispositivos que previnem e detetam perdas de qualquer origem, podendo interromper automaticamente a linha de produção quando necessário, destacando-se pela sua simplicidade de operação e seus recursos de design intuitivos (Valamede L.S., Akkari A.C.S., 2020). Esses dispositivos ajudam a reduzir a variabilidade e a manter a estabilidade e o controle dos processos de produção (Mrugalska e Wyrwicka, 2017; Zhang, 2014).
Mapeamento do Fluxo de Valor	O fluxo de valor consiste em todas as ações atualmente requeridas na linha de produção, abrangendo tanto o valor agregado quanto os não agregadores, e a sua representação visual desse fluxo permite uma análise sistemática do processo que permeia vários níveis de uma estrutura de produção (Valamede L.S., Akkari A.C.S., 2020). Essa análise é usada para eliminar desperdícios, agilizar as tarefas de trabalho, reduzir o lead time e os custos e aumentar a qualidade da produtividade (Wagner et al., 2017).
Kaizen	A filosofia Kaizen promove melhorias como resultado do esforço contínuo e os eventos kaizen são frequentemente associados a técnicas de redução de desperdício, lead time e balanceamento de estação de trabalho (Knechtges e Decker, 2014).
Manutenção Produtiva Total	Esse conceito visa melhorar a produtividade e a qualidade, além de motivar os colaboradores e contribuir para a satisfação no trabalho (Valamede L.S., Akkari A.C.S., 2020). Tem uma abordagem de manutenção inovadora que otimiza a eficácia do equipamento, elimina falhas e promove a manutenção autônoma do operador por meio de atividades diárias que envolvem a força de trabalho (Mayr et al., 2018; Singh et al., 2013).

Fonte: Elaboração Própria

Segundo Tortorella et al (2021), a implementação da manufatura enxuta baseia-se em cinco princípios: (i) identificar/definir valor; (ii) mapear o fluxo de valor; (iii) criar fluxo; (iv) estabelecer um sistema pull e (v) encontrar a perfeição. Porém, em algumas pesquisas recentes revelou-se que os princípios são operacionalizados de forma diferente pelas empresas, havendo uma certa desconexão entre a teoria e a prática (Narayanamurthy et al., 2018). Losonci et al (2011), observaram que na área do projeto e foco da implantação de práticas enxutas, são determinados pelas percepções dos trabalhadores, sendo as mesmas influenciadas por características de processo preexistentes e gênero dos funcionários. Admitiram ainda que, as fábricas com processos mais transparentes alcançam uma transformação enxuta moderada por método de trabalho e comprometimento, enquanto fábricas com processos menos transparentes alcançam uma transformação enxuta radical por meio da comunicação e crença.

## 2.2 INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0, caracteriza uma indústria cujas principais características são compreendidas por: máquinas conectadas, produtos, sistemas inteligentes e soluções inter-relacionadas. Tais aspetos são reunidos para montagem de unidades de produção inteligentes baseadas em computadores integrados, assim como, possivelmente, por componentes digitais que monitorizam e controlam os dispositivos físicos (Ashton 2009; Lasi et al. 2014). Nesse sentido, a Indústria 4.0 visa uma produção autônoma e dinâmica, que integra Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), possibilitando assim produções em massa de produtos altamente customizados.

Hermann et al. apontam os derivados de tecnologias da Indústria 4.0, que apoiam as empresas na identificação de possíveis projetos-piloto:

(i) Interoperabilidade; (ii) Virtualização; (iii) Descentralização; (iv) Capacidade em tempo real; (v) Orientação de serviço; (vi) Modularidade.

Apesar da crescente relevância, várias empresas ainda lutam para compreender a ideia geral da Indústria 4.0, assim como quais os seus conceitos e princípios (Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg 2016). Erol, Schumacher e Sihm (2016) indicam que normalmente as empresas têm problemas para determinar qual o seu estado atual em relação ao desenvolvimento da Indústria 4.0, por conseguinte, não conseguem identificar campos de ação, programas ou projetos concretos.

A Indústria 4.0 foi ganhando popularidade significativa, levando empresas em todo o mundo a investir somas consideráveis na investigação de como podem beneficiar da sua utilização (Buer et al, 2018). A Indústria 4.0, foi apresentada pela primeira vez em Hannover Messe em 2011 (Drath e Horch 2014) e segundo Sanders et al (2016), o governo alemão anunciou um programa de financiamento de pesquisa denominado Indústria 4.0, com a intenção de promover a informatização das indústrias de manufatura para passar da manufatura automatizada para a manufatura inteligente, a fim de enfrentar os crescentes desafios enfrentados pela indústria, como a flexibilidade para lidar com a customização em massa, tendo como objetivo manter a vantagem tecnológica para a indústria alemã e a competitividade na indústria da manufatura.

O conceito de manufatura enxuta não desaparecerá, mas tornar-se-á mais importante para uma implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 (Sanders et al., 2017). Os autores referem ainda que as ferramentas de manufatura enxuta vão beneficiar com a introdução da Indústria 4.0, assim como, a Indústria 4.0 vai beneficiar das facilidades oferecidas pela manufatura enxuta, podendo resultar mesmo em pré-requisitos para a mudança desta indústria. Ghobakhloo (2018), argumentou que a Indústria 4.0 pode ser definida tendo em conta as tendências tecnológicas subjacentes e princípios de design. Ghobakhloo et al (2020), referem que as tendências da tecnologia se referenciam às inovações tecnológicas digitais avançadas, que têm como objetivo facilitar o surgimento da nova tecnologia industrial digital, a Indústria 4.0.

O processo de digitalização da manufatura nas PMEs é diferente, uma vez que, estas são significativamente limitadas em relação aos recursos financeiros e humanos (Müller et al., 2018; Tang e Ghobakhloo, 2013). Geralmente têm acesso limitado às informações de mercado (Madrid Guijarro et al., 2009) e usam menos técnicas estratégicas como: análise financeira, previsão e gerenciamento de projetos (Ghobakhloo et al., 2011; Schröder, 2017). Embora estejam cientes dos benefícios potenciais de longo prazo da digitalização da manufatura no cenário da Indústria 4.0 (Müller et al., 2018), ainda estão preocupadas com os processos de inovação, custo, interconexão e criação de valor da Indústria 4.0 (Schröder, 2017). Love et al (2015), mencionam as empresas menores como sendo mais abertas às mudanças impostas pelo ambiente de negócios, e fazer um melhor equilíbrio entre o processo de tomada de decisão rápida e as decisões de qualidade.

Kumar et al (2020), define a Indústria 4.0 como sendo a integração do número de tecnologias que vão desde a manufatura mecânica simples, a sistemas mecatrônicos altamente avançados, implantando computação avançada, controlo eletrónico, robótica colaborativa, comunicação em tempo real, realidade aumentada e sistemas fabricados. Admite-se que o principal objetivo da Indústria 4.0 é melhorar a eficiência e a capacidade de resposta do sistema de manufatura (Ahuett-Garza e Kurfess 2018).

Como referido no capítulo anterior, existem ferramentas de manufatura enxuta mencionadas no artigo de Valamede et al (2020), no entanto, também há a informação sobre as principais tecnologias da Indústria 4.0, sendo algumas as seguintes:

Tabela 2: Tecnologias 4.0

Big Data Analytics	Refere-se a uma grande quantidade de dados variados, que são processados em informações com alta velocidade de captura e maior visibilidade, permitindo melhorar a eficiência e efetividade das organizações nos processos de tomada de decisão (Vaidya et al., 2018).
Veículos Guiados automatizados	Eles são capazes de operar no mundo real sem nenhum controle externo por longos períodos de tempo (Valamede et al, 2020), além disso, sem a necessidade de isolar sua área de trabalho, os humanos podem trabalhar juntos o que torna os processos mais produtivos e econômicos (Mayr et al., 2018).
Simulação virtual	É uma modelagem baseada num sistema computacional que promove dados em tempo real para espelhar o mundo físico num modelo virtual que inclui máquinas, produtos e humanos (Valamede et al, 2020).



	Essa simulação fornece uma análise prévia de todas as etapas que compõem o processo, apresentando estimativas de desempenho para os indicadores de produção (Bahrin et al., 2016).
Cibersegurança	Visa proteger programas, computadores, redes e dados, garantindo a segurança, a segurança e confiabilidade das comunicações e a gestão de recursos e informações (Valamede et al, 2020). As fábricas inteligentes trabalharão com protocolos de comunicação padrão e alta conectividade entre todos os elos da cadeia de valor (Rüßmann et al., 2015; Ustundag e Cevikcan, 2018);
Cloud	A nuvem fornece comunicação unificada entre o nível de tecnologia (produtos inteligentes e sistemas ciberfísicos) e o nível de hierarquia mais alto em uma empresa (Valamede et al, 2020). Inovação que aumenta o compartilhamento de dados entre as fronteiras da empresa, melhora o desempenho do sistema, torna-o mais ágil e flexível e reduz custos (Ma et al., 2017; Vaidya et al., 2018).
Manufatura Aditiva	Representa um conjunto de processos automatizados por computador que constroem produtos camada por camada, com base em modelos tridimensionais projetados no software Computer-Aided Design (Valamede et al, 2020). Essa abordagem permite que um objeto seja produzido em uma única etapa ou com redução no número de etapas, além de fornecer produtos facilmente customizados (Bahrin et al., 2016).
Realidade Aumentada	Por último, a realidade aumentada funciona com a sobreposição de objetos virtuais com o ambiente existente (Valamede et al, 2020). Em visores de RA, as informações virtuais e reais, previamente adquiridas com uma câmara, são fundidas digitalmente e representadas em uma tela, criando uma interface entre os funcionários e os produtos ou equipamentos digitais (Mayr et al., 2018; Rüßmann et al., 2015).

Fonte: Elaboração Própria

Segundo Tortorella et al (2021), o baixo nível de prontidão das empresas em Indústria 4.0 tem dificultado o exame de tecnologias digitais básicas, como big data e análises, logo os autores defendem que embora haja evidências sobre a adoção da Indústria 4.0 que sejam prolíficas, a maioria dos estudos são de natureza conceitual/teórica ou aplicações com uma perspectiva muito estreita. Logo, este facto influencia negativamente a compreensão da adoção da Indústria 4.0, numa perspectiva de todo o sistema, sugerindo que uma investigação mais aprofundada sobre o assunto é necessária (Tortella et al, 2021).

### 2.3 LIGAÇÃO ENTRE MANUFATURA ENXUTA E INDÚSTRIA 4.0

Kolberg et al. (2017) defendem que, até ao momento, as abordagens lean foram amplamente distribuídas e bem-sucedidas, contudo, quando confrontadas com desafios atuais, não são as mais adequadas, tendo isto em conta, os autores, propõem a Automação Enxuta, uma combinação de métodos enxutos com tecnologias de informação e comunicação (TIC), mostrando, inclusive que já existem abordagens iniciais como o Kanban eletrônico. As primeiras iniciativas para incorporar tecnologia de Automação Enxuta (AE), datam do início da década de 1990 (por exemplo, Franke 1993; Groebel 1993; Schling 1994). Devido aos benefícios potenciais da implementação de tecnologias da Indústria 4.0, alguns autores (por exemplo, Takeda 2006; Gjeldum, Mladineo e Veza 2016; Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg 2016) argumentam a existência de novas áreas de aplicação disponíveis para a AE, uma vez que, as abordagens atuais geralmente são soluções proprietárias, devendo ser adaptadas às necessidades individuais.

No contexto do desenvolvimento contínuo para uma produção em massa de produtos personalizados, os sistemas de TI altamente fragmentados e CPS autônomos, tornam-se cruciais para a comunicação por meio de interfaces padrão (Mourtzis e Doukas 2012; Colombo, Karnouskos e Bangemann 2013). Bahrin et al (2016) referem que o ambiente industrial está a transformar-se para o quarto estágio, com o aparecimento de robôs autônomos, automação contemporânea, sistemas ciberfísicos, a internet das coisas, a internet dos serviços, entre outros. Tal como Mayr et al (2018) referem, a Indústria 4.0 tem como objetivo melhorar a produção, reduzir o tempo da máquina parada, aumentar a qualidade e as atividades de manutenção eficientes.

### **2.3.1 PRINCIPAIS VANTAGENS DA LIGAÇÃO ENTRE A MANUFATURA ENXUTA E A INDÚSTRIA 4.0**

O estudo realizado por Pekarcikova et al. mostrou que a manufatura enxuta tem um grande potencial para uma implantação bem-sucedida e sustentável da Indústria 4.0. A Indústria 4.0 melhora essencialmente o sistema de manufatura enxuta, posicionando o mesmo num nível muito mais alto. Mahmood e Montagna (2013) adotam uma abordagem holística: eles modelam a implementação enxuta com a abordagem de sistema de sistemas e, assim, conectam o sistema de produção em rede com os subsistemas equivalentes de manutenção, gestão da qualidade e planejamento e controle. Netland (2015) evidência uma grande vantagem na combinação da manufatura enxuta e Indústria 4.0, como por exemplo: A troca de dados em toda a cadeia de abastecimento em tempo real permite que as empresas aumentem a velocidade de produção. O desperdício e stocks extra, são reduzidos ainda mais, assim como, o fluxo de peça única é facilitado.

Adam Sanders, Chola Elangeswaran e Jens Wulfsberg, indicam que cada problema para implementação da manufatura enxuta da perspectiva da integração, tem uma solução nas tecnologias associado à Indústria 4.0. A execução dessas tecnologias resolve problemas em todas as áreas, tais como: fornecedor, cliente, processo, controle e fatores humanos. Os autores provam claramente que, ao adotar a Indústria 4.0, as indústrias são capazes de se tornar enxutas, isto sem sentirem necessidade de manterem um esforço persistente ou consciente para “enxergar”. A concepção, operação e manutenção de uma indústria de manufatura, estão incorrendo numa melhoria considerável, isto por meio das tecnologias da Indústria 4.0.

Adam Sanders, Chola Elangeswaran e Jens Wulfsberg, apontam que “com sistemas avançados de informação e comunicação em funcionamento, juntamente com uma estrutura operacional enxuta, um setor tem potencial para se expandir para novos horizontes com facilidade”. É certo que quando uma fábrica se torna enxuta, o fluxo é fortalecido, assim como, as atividades consideradas desperdício são reduzidas, tal redução permite igualmente uma diminuição de custos, logo, todo o esforço para diminuir esse desperdício compensa em termos de redução de custos operacionais. Atualmente, este esforço é introduzido através da Indústria 4.0, que ao ser implementada, além dos benefícios claros de se tornar uma fábrica inteligente, traz igualmente benefícios financeiros através da redução ou eliminação de desperdícios redundantes. Tendo isto em conta, embora seja um processo intensivo em termos de custos, a aplicação da Indústria 4.0, comprova que vale o investimento, afirmando o estudo que as indústrias relutantes, podem atrever-se nesta aventura que é a quarta revolução industrial.

A manufatura enxuta tem vindo a transformar-se em “lean 4.0”, nome referente à junção entre Indústria 4.0 e manufatura enxuta (Mayr et al, 2018). Usando a tecnologia para melhorar o desempenho da manufatura enxuta, vai levar a ganho de processos de produção, logísticas mais eficientes (Dombrowski, 2017) e sistemas de manufatura mais flexíveis (Ruttimann e Stochli, 2016). Sanders et al (2016), refere que a fácil integração e manutenção do relacionamento entre os parceiros de negócios por meio da internet e nuvem comum, contribui para uma forte colaboração, sincronização e melhor comunicação, permitindo um feedback eficaz do fornecedor. Dombrowski et al (2017), admitem ainda que análises mais avançadas e ambientes de big data equipam as máquinas para serem autoconscientes e autossuficientes, alcançando melhorias significativas em manutenção produtiva e preventiva total.

### **2.3.2 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA LIGAÇÃO ENTRE MANUFATURA ENXUTA E INDÚSTRIA 4.0**

Apesar de se considerar que a Indústria 4.0 veio melhorar o desempenho das práticas da manufatura enxuta, na sua aplicação podem surgir determinados problemas, entre os quais os seguintes, descritos por Kumar et al (2020):

Ferramentas de TI de estrutura e fabricação específicas de TI - Necessidade de desenvolvimento de enorme infraestrutura tecnológica, para comunicação pesada, protocolos elevados IWN, mecanismo de tomada de decisão e negociação inteligente instantâneo, transferência de elevado volume de dados, fabrico de ferramentas de TI específicas como a análise de big data;

Segurança de Dados/ Fim da privacidade - O mecanismo de segurança e privacidade dos dados é um dos grandes desafios, caso contrário conduzirá o sistema a uma era de fim de privacidade;

Normalização - A integração e adoção de tecnologias tão complexas e em evolução é, em si, um desafio. Requer uma normalização a vários níveis;

Competência da Mão de obra – Recrutamento e retenção de mão de obra qualificada é um desafio e exige um enorme investimento;

Perdas potenciais de empregos - É um grande desafio para a sociedade, especialmente nos países em desenvolvimento;

Base de Conhecimento - A disponibilidade de uma base de conhecimento efetiva é um desafio devido às incertezas nos requisitos de fabricação;

Dispositivos inteligentes modulares e flexíveis - Requisito de dispositivos/máquinas/artefatos modulares, inteligentes e flexíveis para lidar com os sistemas em mudança e os requisitos de fabricação;

Alta vontade de investimento e gerenciamento - as tecnologias, sua integração e disponibilidade de artefactos inteligentes precisam de um grande investimento e boa vontade de gerenciamento para serem adotadas.

### **3. METODOLOGIA**

O presente artigo é uma revisão sistemática da literatura, e para a elaboração da mesma recorreu-se à base de dados literária Scopus, no dia 8 de Março de 2021, com os seguintes termos de pesquisa: (TITLE-ABS-KEY ("Industry 4.0") AND TITLE-ABS-KEY ("lean manufacturing") ) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "BUSI" )) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE, "English")). Os termos de pesquisa mencionados foram aplicados ao título, resumo e palavras-chave, dando um resultado de 140 resultados. Posteriormente, aplicaram-se filtros como: Idioma (English), tipos de documento (Article), e categoria (Business, Management and Accounting), dando origem a 22 artigos. Desses 22 artigos apenas dois artigos foram excluídos, tendo em conta o critério de exclusão nº 1 e 2, sendo os respetivos artigos: “Modern divulge in production optimization: an implementation framework of LARG manufacturing with Industry 4.0”, Amjad M.S., Rafique M.Z., Khan M.A. (2021); “Managerial and Industry 4.0 solutions for fashion supply chains”, Braglia M., Marrazzini L., Padellini L., Rinaldi R. (2020).

A subárea “Business, Management and Accounting”, foi escolhida por se tratar da área em que se pretende focar no artigo, isto é, que benefícios a Indústria 4.0 traz a nível de desempenho económico, financeiro e organizacional. Caso a área de interesse estivesse relacionada com tecnologia ou engenharia, pretender-se-ia estudar de que forma a Indústria 4.0 poderia ser adaptada para novas tecnologias, entre outros aspetos, porém como a área de interesse está relacionada com o desempenho da empresa, foi importante focar pela subárea de “Business, Management and Accounting”.

A Scopus foi escolhida como a base de dados para a presente revisão sistemática da literatura, por ser o maior banco de dados de resumos e citações de literatura com revisão por pares, nomeadamente revistas científicas, livros, processos de congressos e publicações do setor. Para além disso, a Scopus garante que as pesquisas fundamentais de todo o mundo, estarão presentes nos seus dados.

Os critérios para a exclusão dos artigos foram: 1. Não está relacionado com a manufatura enxuta nem com a Indústria 4.0; 2. Não foi encontrado o artigo e o seu resumo não é útil para o trabalho.

Para começar a estruturar o artigo, foi necessário recorrer à aplicação “VosViewer”, com o intuito de definir os Clusters principais para a realização do artigo científico, porém, por se tratar de uma revisão sistemática da literatura e de um tema muito focado na Indústria 4.0 e manufatura enxuta, optou-se pela não divisão dos artigos por clusters, mas sim por se falar num conjunto de resultados obtidos pelos diversos autores.

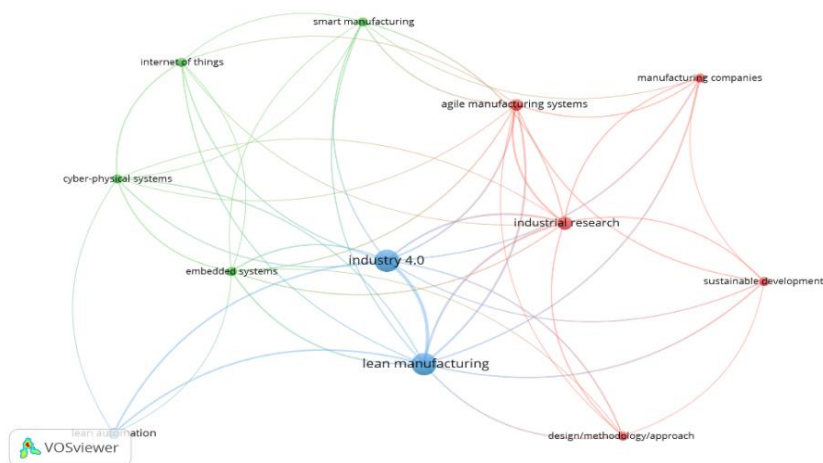


Figura 2: Clusters obtidos no Vosviewer  
Fonte: Elaboração própria.

Como é possível observar na imagem anterior, não existem pontos que se destaquem tendo em conta a pesquisa efetuada no VosViewer.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos retratam as descobertas de cada artigo, no entanto, ao contrário do que é usual fazer, neste artigo não se recorreu à distinção por clusters, pois por ser um tema tão específico, seria difícil distinguir por tema, uma vez que, todos vão de encontro ao mesmo objetivo, como anteriormente observado na figura do Vosviewer. Posteriormente, falar-se-ão das principais limitações encontradas no desenrolar do presente artigo científico.

##### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS

Sanders et al (2016) afirmam que através de sistemas integrados de informação e comunicação, as deficiências das práticas convencionais podem ser superadas para melhorar a produtividade e eliminar desperdícios, implicando indústrias que contêm os benefícios combinados de integração real de toda a fábrica junto com a garantia de geração mínima de resíduos. Algumas pesquisas na Indústria 4.0 são puramente orientadas para a teoria, não facilmente adaptáveis a uma aplicação, precisando essa aplicação ser desenvolvida de acordo com os critérios de implementação da manufatura enxuta.



Kolberg et al (2017), admitem que a manufatura enxuta não é adequada para atender a procura do mercado por produtos altamente customizados, daí que seja necessária a sua integração com as TIC modernas para conseguir responder adequadamente à procura, sugerindo a Indústria 4.0. A mutabilidade para soluções de Automação Enxuta e menores esforços de integração podem ser realizados, como por exemplo o método Kanban, ao ser configurado, permitiu avaliar a viabilidade da referida interface. A computação e as práticas enxutas pressagiam grandes promessas para negócios experientes do século XXI, com potencial para criar grandes economias e retornos, garantir competitividade global, aumentar a eficiência das operações de fabricação e da cadeia de processos, aumentar o desempenho financeiro, produtividade, entre outros. Contudo, admite-se que existe pouco conhecimento sobre os dois paradigmas, mas apesar disso, ambos podem ser combinados e aproveitados para garantir o sucesso dos negócios (Ogu et al, 2018).

A maioria dos estudos que investigam as implicações de desempenho de tal integração afirmam que o aumento da flexibilidade será o principal benefício. Embora não existam estudos explicitamente discutidos sobre a aplicabilidade de um sistema integrado de Indústria 4.0 e manufatura enxuta em diferentes ambientes, a maioria casos de uso são relatados em ambientes de produção repetitivos (Buer et al, 2018).

No geral, a combinação de métodos e soluções de manufatura com Indústria 4.0, são apoiados. No artigo de Lugert et al (2018), através de um caso prático onde constavam apenas participantes de diferentes indústrias, admitiram que envolver a ferramenta VSM com a digitalização pode compensar determinadas deficiências dentro da organização.

As tecnologias da Indústria 4.0 e a implementação das práticas de manufatura enxuta estão associadas, sendo essa associação visível através de empresas de diversas dimensões, uma vez que o tamanho da empresa não é uma barreira para a implementação simultânea de ambas as práticas, podendo empresas menores serem incentivadas a seguir o mesmo caminho. Empresas em implementação de manufatura enxuta podem ser capazes de definir e adotar tecnologias da Indústria 4.0 de modo a atingir melhorias de desempenho operacional mais elevadas. É provável que os princípios e práticas da indústria 4.0 se tornem mais relevantes à medida que uma nova revolução industrial torna possível compreender melhor a estrutura da procura dos clientes e acelerar o processo de troca de dados e informações em toda a cadeia de valor (Tortorella G.L., Fettermann D., 2018).

A implementação do pensamento enxuto, até certo ponto, como uma iniciativa antecessora à adoção da Indústria 4.0, fornece uma base comportamental e de processos sólida sobre a qual as tecnologias podem promover outra camada de melhorias. Se a empresa não apresentar um nível mínimo de maturidade do pensamento enxuto (tempo de implementação do pensamento enxuto), a simples incorporação de tecnologias indústria 4.0 em processos mal estruturados e comportamentos inadequados provavelmente levará a resultados abaixo das expectativas, gerando frustração e desperdício. As empresas de economias emergentes com níveis superiores de melhoria de desempenho nos últimos anos e que têm implementado o pensamento enxuto extensivamente são mais propensas a adotar, em simultâneo, tecnologias da Indústria 4.0, sugerindo este resultado uma associação positiva entre as duas abordagens, mesmo que as condições socioeconómicas possam não ser tão favoráveis quanto nos países desenvolvidos (Tortorella G.L., Rossini M., Costa F., Portioli Staudacher A., Sawhney R., 2019).

Pagliosa et al (2019) admitem que fabricantes que passam por uma implementação de manufatura e que pretendem beneficiar da Indústria 4.0 devem preferencialmente investir esforços na adoção de Iot e CPS, uma vez que, essas tecnologias de Indústria 4.0 são as que

têm maior número de relacionamentos de alta sinergia, podendo fornecer melhores resultados de curto prazo.

Pekarčíková e al (2019) no seu caso prático notaram na grande influência e compatibilidade das ferramentas manufatura enxuta com as ferramentas da Indústria 4.0, principalmente em relação ao Kaizen (Kaizen é a filosofia de melhoria contínua, que deve ser implementada na empresa para que todos os colaboradores da empresa se identifiquem com ela), Padronização (O objetivo da padronização é estabilizar processos, melhorando assim a produtividade, qualidade e eficiência. A padronização de processos, procedimentos, atividades de produção, logística, etc. pode ser considerada como uma das condições em relação aos processos e sistemas de automação empresarial, que faz parte da Indústria 4.0) e Tato (é o indicador básico da Manufatura Enxuta que mostra a rapidez com que os produtos devem ser produzidos).

O conceito de enxuto é fundado no princípio de que as necessidades do cliente devem ser fornecidas da maneira certa na hora certa, no lugar certo e na quantidade certa. Quando uma empresa adota a filosofia de gestão enxuta, significa que o objetivo da empresa é eliminar o desperdício em toda a empresa e atender à procura dos clientes. Atualmente, os processos de manufatura enfrentam uma mudança em direção às práticas de manufatura enxuta devido aos custos mais baixos, menor tempo de processamento e muito mais processos eficientes. Com este tipo de transição, é necessário que as empresas avaliem o seu nível de magreza em toda a empresa. O uso da avaliação proporcionará a gestão com informações para revelar seus aspectos fortes e fracos (Tayaksi et al, 2020).

A tecnologia é considerada uma evolução dos equipamentos e sistemas de gestão, que vêm sendo amplamente utilizados pela indústria para realizar o controle do chão de fábrica e as variáveis estratégicas, permitindo maior agilidade para atender as necessidades de cada empresa e a possibilidade de integração com os outros sistemas (Guirro et al, 2020).

No artigo de Abbadí et al (2020), é dito que a manufatura enxuta passou por 4 fases: primeiro, desenvolvimento de algumas ferramentas enxutas, já utilizadas antes e fora do sistema de produção da Toyota, como o JIT; segundo, desenvolvimento das ferramentas dentro da empresa Toyota e invasão do mundo industrial; terceiro, as ferramentas passaram a ser digitalizadas e/ou automatizadas; quarto, a manufatura enxuta junta-se à Indústria 4.0, formando a “lean 4.0”.

Ghobakhloo e Fathi (2020), relatam que a digitalização da manufatura pode ter profundas implicações sociais, uma vez que, pode estar associada ao desemprego da força de trabalho pouco qualificada, disparidade de poder nas relações de negócios, questões de segurança cibernética e questões de propriedade intelectual. Os autores acreditam e referem que as empresas de manufatura que objetivam a digitalização devem estar preparadas para assumir a responsabilidade pelo seu processo de digitalização e orientá-lo em uma direção que proteja simultaneamente a sustentabilidade econômica, social e ambiental.

A Indústria 4.0 pode ser complexa e disruptiva, mas é inevitável de tal forma que nenhum país do mundo se pode isolar e impedir a adoção dela, pois mais cedo ou mais tarde todos os países e todas as Indústrias vão ter de a adotar, tanto que os principais países industriais já começaram a adotar as práticas de Indústria 4.0 (Kumar S., Suhaib M., Asjad M., 2020). Os mesmos autores relatam ainda que indústrias como Amazon e Nokia, já adotaram as ferramentas da Indústria 4.0, nas suas atividades diárias. No entanto, estes autores admitem haver ainda lacunas nos estudos sobre a prática da Indústria 4.0, uma vez que não existem resultados sobre a sua eficácia.

Kamble et al (2020), realizaram um estudo no qual pretendiam investigar o efeito da Indústria 4.0 sobre a manufatura enxuta e sobre o desempenho operacional, e o efeito mediador

da manufatura enxuta entre Indústria 4.0 e desempenho operacional, sendo um dos primeiros estudos empíricos sobre esta temática. Neste estudo, os autores concluíram que de facto a Indústria 4.0 tem um efeito positivo na manufatura enxuta e no desempenho operacional, tal como a manufatura enxuta foi declarada como uma variável mediadora significativa.

Fortuny-Santos ET AL (2020), dizem que embora a maioria dos pesquisadores afirme que a manufatura enxuta e a Indústria 4.0 interagem de maneira positiva gerando sinergias, a maioria dos artigos revistos no seu artigo, mostram ainda haver falta de evidências empíricas. Defende-se que existem reações céticas e convicção de que a Indústria 4.0 não passa de um exagero de marketing e uma moda passageira, uma vez que os especialistas veem a Indústria 4.0 como uma evolução da manufatura enxuta ou como forma de apoiar as práticas de enxuta, ou seja, como uma evolução e não como uma revolução (Fortuny-Santos J., López P.R.-D.-A., Luján-Blanco I., Chen P.-K., 2020). Os autores constatam ainda que, a Indústria 4.0 não pode resolver todos os problemas de uma empresa, podendo tornar certas coisas mais fáceis, mas criando outros problemas e atividades sem valor agregado. Ainda na linha de pensamento destes autores, eles referem que algo não estudado é o futuro das pessoas, isto é, defendem que o papel das pessoas no futuro da empresa não está bem claro, uma vez que, ao falar de manufatura enxuta fala-se em pessoas, mas ao falar de Indústria 4.0, não se menciona as pessoas.

No artigo de Valamede e Akkari (2020), foi possível observar quais as ferramentas de manufatura enxuta tinham ligação com uma dada tecnologia da Indústria 4.0, e os autores elaboraram uma tabela onde é possível que ferramentas e que tecnologias podem ser usadas em simultâneo para melhorar o processo de produção. Continuando com os resultados, os autores Valamede e Akkari (2020) admite que, Lean 4.0 (manufatura enxuta juntamente com Indústria 4.0), aponta para soluções de automação de baixa complexidade que se enquadram no ambiente de manufatura enxuta, visando obter uma maior capacidade de mudança e menores fluxos de informação para atender às procuras futuras do mercado, o que fortalece as margens competitivas das empresas de manufatura. Assim sendo, os autores admitem que as tecnologias da Indústria 4.0 aumentam a maturidade da manufatura enxuta, como por exemplo, para o sucesso do Just-In-Time, as informações geradas devem ser precisas, atualizadas e compartilhadas a cada momento. Continuando, referem que os dispositivos kanban são potencializados por ferramentas emergentes, englobando toda a cadeia de suprimentos horizontal e vertical, e não apenas por processos internos de produção e logística. Os Poka-Yoke inteligentes, trabalham com dados em tempo real do fluxo de produção, sendo mais eficazes na redução do desperdício, além de evitar que problemas se espalhes para as próximas estações de trabalho (Valamede et al, 2020). Por sua vez, a ferramenta VSM torna-se capaz de monitorar fluxos de valor em tempo real para a resolução rápida de possíveis desperdícios, através da interconexão entre máquinas, processos e funcionários proporcionada pelas tecnologias da Indústria 4.0 (Valamede et al, 2020).

A quarta revolução industrial promete mudar o panorama da manufatura, e aqueles que não são capazes de colher as oportunidades induzidas pela nova tecnologia estão destinados a ficar para trás de seus concorrentes (Buer S.-V., Semini M., Strandhagen J.O., Sgarbossa F., 2020). Para pesquisas futuras, os autores consideram importante estudar o papel da manufatura enxuta na Indústria 4.0. Buer et al (2020), identificaram uma forte correlação entre utilizadores de tecnologias digitais e práticas de manufatura enxuta, o que sugeriu compatibilidade entre os dois domínios. Tanto a digitalização da fábrica quanto as práticas de manufatura enxuta foram preditores positivos significativos do nível de desempenho operacional, tendo ainda mostrado que, o uso simultâneo produz benefícios de desempenho ainda maiores, sugerindo uma relação sinérgica entre os dois domínios em relação ao seu impacto no desempenho operacional.

Os autores Tortorella, Narayanamurthy e Thurer M. (2021) admitem que as práticas/tecnologias de start-up em transição estão associadas a empresas de alto desempenho, confirmando-se empiricamente que a implementação da manufatura automatizada tem um impacto positivo nos resultados operacionais. Em segundo lugar, observou-se que à medida que avança a implementação da manufatura automatizada, as empresas tendem a mudar de uma abordagem exclusiva de manufatura enxuta para uma orientação de tecnologias da Indústria 4.0, significando que a maioria das empresas de alto desempenho começa a sua implementação de manufatura automatizada com base num sólido entendimento e adoção de práticas de manufatura enxuta (Tortorella G.L., Narayanamurthy G., Thurer M., 2021). Os autores relatam que os seus resultados destacam que muito ainda precisa de ser desvendado, especialmente em termos do impacto da manufatura automatizada na melhoria do desempenho à medida que as empresas alcançam níveis mais avançados de implementação. Os autores referem ainda que é importante que os gestores estejam cientes de que vai haver uma diminuição de retornos de desempenho à medida que a transição da manufatura automatizada progride e a empresa se aproxima da fronteira final de ativos dada pelas possibilidades tecnológicas atuais.

Os autores Sadiq, Amjad, Rafique, Hussain, Yasmeen e Khan (2021), usaram a ferramenta Mapeamento do Fluxo de Valor e a ferramenta oceano azul, o que resultou numa ajuda a melhorar o desempenho produtivo, operacional e ambiental da empresa. Outro facto ambiental observado pelos autores, quando usaram as ferramentas em conjunto, foi a diminuição da emissão de gases com efeito de estufa, observando-se uma redução de 50%. Os autores referem assim que isso estabelece que a fabricação de oceano azul pode atuar como uma forte alavanca na melhoria do desempenho ambiental dos sistemas de fabricação, para além das vantagens económicas que possam ser observadas.

#### **4.2 LIMITAÇÕES E PESQUISA FUTURA**

Uma limitação evidente no presente artigo, é a reduzida informação obtida. Posteriormente, quando se estudar esta mesma temática é importante recorrer a um maior número de artigos científicos, uma vez que, dos 20 artigos obtidos na base de dados Scopus, de acordo com os filtros anteriormente mencionados, não são suficientes. Outra solução pode ser recorrer a uma base de dados diferente, como a Web of Science.

Os pesquisadores não se devem concentrar apenas em como a Indústria 4.0 pode aprimorar as soluções técnicas da manufatura enxuta, mas também como ela impacta os aspetos "suaves" do enxuto. Os efeitos dos sistemas de manufatura enxuta estabelecidos na facilidade de implementação da Indústria 4.0 são outra área de pesquisa importante para empresas com o objetivo de transformar suas operações usando as soluções emergentes de TIC (Buer et al, 2018).

Tortorella e Fettermann (2018) propõem uma nova abordagem para identificar como a integração das tecnologias da Indústria 4.0 nas práticas de gestão atuais, como práticas de pensamento enxuto, comprovam a melhoria do desempenho operacional. Apesar de alguns autores referirem que não há evidências de que a Indústria 4.0 melhore o desempenho das práticas de manufatura enxuta, existem autores que refutam esta afirmação.

Pagliosa et al (2019), sugerem categorizar as tecnologias I4.0 e as práticas de lean em diferentes níveis de fluxo de valor, isto porque, contrariamente à literatura sobre a manufatura enxuta, o corpo de conhecimento sobre Indústria 4.0 é significativamente mais recente e está numa fase mais inicial, indicando assim que muito ainda precisa de ser investigado para que haja uma compreensão mais clara dos benefícios potenciais da I4.0. O categorizar dessas tecnologias e práticas de lean de acordo com o nível do fluxo de valor pode ser aprimorado à medida que empresas e investigadores aumentam a compreensão, por isso, futuros estudos



sobre práticas de lean e I4.0 poderiam esclarecer melhor e indicar como essa relação pode impactar toda a organização, distinguindo os seus efeitos em todos os níveis do fluxo de valor.

Tendo em conta a presente revisão sistemática da literatura, seria interessante estudar na indústria portuguesa de que forma as empresas utilizam a manufatura enxuta e quais delas, já com a manufatura enxuta nas suas técnicas, evoluíram para a adoção da Indústria 4.0. Quando se realizam pesquisas, encontram-se maioritariamente artigos realizados fora de Portugal, daí que seja importante saber de que forma as empresas portuguesas tentam adotar a manufatura enxuta e a Indústria 4.0.

Como sugestão adicional futura, seria importante comparar empresas do mesmo sector, com implementações de manufatura diferentes, para tentar perceber de que modo a integração da Indústria 4.0 com a manufatura enxuta, afeta positivamente ou não o desempenho da empresa, isto é, considera-se necessária a comparação entre duas empresas/organizações em que uma não possui Indústria 4.0 e outra possui.

## 5. CONCLUSÃO

A crescente necessidade por parte das empresas de implementação do pensamento enxuto em maneiras eficientes de fazer negócios e a procura pela incorporação de novas tecnologias, levou a um aumento da produtividade em diversos níveis e, em simultâneo, a criação de novos modelos de negócios e serviços. Encontrar o equilíbrio adequado para a mudança pode ser a chave para competir com sucesso neste cenário paradoxal onde a tecnologia e a simplicidade, baseada no ser humano, devem existir simultaneamente.

Os conceitos procuram dois objetivos semelhantes, o aumento de produtividade e flexibilidade, assim como ambos pretendem igualmente controlar a complexidade crescente na produção, contudo possuem abordagens diferentes, a Indústria 4.0 é orientada para a tecnologia, desejando ultrapassar a complexidade por meio de uma adoção completa de TI, já o pensamento enxuto, é uma abordagem metódica, cujo objetivo é reduzir a complexidade, tendo por base a padronização consistente. De facto, devido às tendências de mercado e às mudanças no perfil dos clientes, as empresas de manufatura podem precisar de inserir progressivamente processos e produtos na era da quarta revolução industrial para se manterem competitivas e responder às novas necessidades de agregação de valor.

Tendo em conta a realização desta revisão sistemática da literatura, é visível que a integração das práticas lean com a indústria 4.0, é uma vantagem que permite as empresas não só padronizar os seus processos, mas também criar um ambiente com custos reduzidos e sem necessidade de intervenção humana, o que permite reduzir recursos humanos e consequentemente os problemas associados aos mesmos. A partir dos benefícios da integração das duas metodologias, esta investigação, permite que se tenha uma ideia dos principais resultados sobre este tema, assim como, linhas de investigação futura.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abbadí L.E., Elrhani S., Manti S.E., (2020), “A literature review on the evolution of lean manufacturing”, *Journal of System and Management Sciences* 10(4), pp. 13-30;
- Ahuett-Garza, H., and T. Kurfess. 2018. “A Brief Discussion on the Trends of Habilitating Technologies for Industry 4.0 and Smart Manufacturing.” *Manufacturing Letters* 15: 60–63;
- Amjad M.S., Rafique M.Z., Khan M.A. (2021), “Modern divulge in production optimization: an implementation framework of LARG manufacturing with Industry 4.0”, *International Journal of Lean Six Sigma*;
- Ashton, K. 2009. “That ‘Internet of Things’ Thing.” *RFID Journal* 22: 97–114;
- Atkeson, A. and Kehoe, P.J., (2001) “The transition to a new economy after the second industrial revolution.” NBER Working Paper No. 8676 December 2001 JEL No. O4, O47, O51, E13, L6;
- Bhamu, J., and Sangwan, K.S. (2014) “Lean manufacturing: Literature review and research issues”, *International Journal of Operations and Production Management* Volume 34, Issue 7, July 2014, Pages 876-940;

- Bhasin, S. and Burcher, P. (2006), "Lean viewed as a philosophy", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 1, pp. 56-72;
- Bortolotti, T., Romano, P., & Nicoletti, B. (2009). Lean first, then automate: An integrated model for process improvement in pure service-providing companies. In *IFIP international conference on advances in production management systems* (pp. 579–586), Springer, Berlin, Heidelberg;
- Braglia M., Marrazzini L., Padellini L., Rinaldi R., (2020) "Managerial and Industry 4.0 solutions for fashion supply chains", *Journal of Fashion Marketing and Management*, 25(1), 184-201;
- Buer S.-V., Semini M., Strandhagen J.O., Sgarbossa F., (2020), "The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance", *International Journal of Production Research*;
- Buer, S.-V., Strandhagen, J.O., Chan, F.T.S. (2018), "The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda", *International Journal of Production Research* 56(8), pp. 2924-2940;
- Chavez, R., W. Yu, M. Jacobs, B. Fynes, F. Wiengarten, and A. Lecuna. (2015), "Internal Lean Practices and Performance: The Role of Technological Turbulence.", *International Journal of Production Economics* 160: 157–171;
- Colombo, Armando W., Stamatis Karnouskos, and Thomas Bangemann. 2013. "A System of Systems View on Collaborative Industrial Automation." In *2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 1968–1975;
- Dombrowski, U., Richter, T. and Krenkel, P., (2017), "Interdependencies of industry 4.0 and lean production systems-a use cases analysis-27th international conference on flexible automation and intelligent manufacturing" (FAIM2017). *Procedia Manufacturing*. 11, 1061-1068;
- Drath, R., and A. Horch. 2014. "Industrie 4.0: Hit or Hype?" *IEEE Industrial Electronics Magazine* 8 (2): 56–58;
- Erol, S., A. Schumacher, and W. Sihn. 2016. "Strategic Guidance towards Industry 4.0—A Three-Stage Process Model." *Proceedings of International Conference on Competitive Manufacturing (COMA16)*, Stellenbosch, South Africa;
- Fortuny-Santos J., López P.R.-D.-A Luján-Blanco I., Chen P.-K., (2020) "Assessing the synergies between lean manufacturing and Industry 4.0", *Dirección y Organización*, 71, 71-86;
- Franke, R. 1993. "Automatisierung und Lean Production – ein Wertepaar?" *Logistik – Lösungen für die Praxis*, 389–409, Berlin, October 20;
- Ghobakhloo M., Fathi M. (2020), "Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), pp. 1-30;
- Ghobakhloo, M. (2018). "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0." *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936;
- Ghobakhloo, M., Arias-Aranda, D. and Benitez-Amado, J. (2011), "Adoption of e-commerce applications in SMEs", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 111 No. 8, pp. 1238-1269;
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Fontes, D.B.M.M. and Tan Ching, N. (2018), "Modeling lean manufacturing success", *Journal of Modelling in Management*, Vol. 13 No. 4, pp. 908-931;
- Gjeldum, N., M. Mladineo, and I. Veza. 2016. "Transfer of Model of Innovative Smart Factory to Croatian Economy Using Lean Learning Factory." *Procedia CIRP* 54: 158–163;
- Groebel, K. 1993. "Flexible Systeme zur Bauteilmontage: der Lean Production folgt die Lean Automation." *Stahlmarkt*, 1993(43), 56–60;
- Hines, P., M. Holweg, and N. Rich. 2004. "Learning to Evolve: A Literature Review of Contemporary Lean Thinking." *International Journal of Operations and Production Management* 24 (10): 994–1011;
- Hofmann, E., and M. Rüsch. (2017), "Industry 4.0 and the Current Status as Well as Future Prospects on Logistics." *Computers in Industry* 89: 23–34;
- Kagermann, H., J. Hellwig, A. Hellinger, and W. Wahlster. 2013. *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry; Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Berlin: Acatech;
- Kamarul Bahrin, M.A., Othman, M.F., Nor Azli, N.H. and Talib, M.F., (2016), "Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic." *Journal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 78 (6-13), 137–143;
- Kamble S., Gunasekaran A., Dhone N.C., (2020) "Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies", *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337;
- Knechtges, P., & Decker, M.C. (2014) "Application of kaizen methodology to foster departmental engagement in quality improvement." *Journal of the American College of Radiology*, 11(12), 1126-1130;
- Kolberg, D. and Zühlke, D., (2015), "Lean automation enabled by industry 4.0 technologies." *International Federation of Automatic Control (IFAC)-PapersOnLine*, 48 (3), 1870-1875;
- Kolberg, D., Knobloch, J. and Zühlke, D. (2017), "Towards a lean automation interface for workstations", *International Journal of Production Research*, Vol. 55 No. 10, pp. 2845-2856;
- Kumar S., Suhaib M., Asjad M. (2020), "Industry 4.0: Complex disruptive but inevitable", *Management and Production Engineering Review*, 11(1), 43-51;
- Lasi, H., P. Fettke, H. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann. 2014. "Industry 4.0." *Business & Information Systems Engineering* 6: 239–242;
- Losonci, D., Demeter, K., & Jenei, I. (2011). "Factors influencing employee perceptions in lean transformations." *International Journal of Production Economics*, 131(1), 30-43;
- Love, J.H. and Roper, S. (2015), "SME innovation, exporting and growth: a review of existing evidence", *International Small Business Journal*, Vol. 33 No. 1, pp. 28-48;
- Madrid-Guijarro, A., Garcia, D. and Van Auken, H. (2009), "Barriers to innovation among spanish manufacturing SMEs", *Journal of Small Business Management*, Vol. 47 No. 4, pp. 465-488;

- Maguad, B.A. (2007), "Lean strategies for education: overcoming the waste factor", *Education*, Vol. 128, No. 2, pp. 248–255;
- Mahmood, A. and Montagna, F. (2013), "Making lean smart by using system-of-systems' approach", *IEEE Systems Journal*, Vol. 7 No. 4, pp. 537-548;
- Marodin, G. A., and T. A. Saurin. (2013), "Implementing Lean Production Systems: Research Areas and Opportunities for Future Studies.", *International Journal of Production Research* 51 (22): 6663–6680;
- Mayr, A., Weigelta, M., Kühn, A., Grimm, S., Ertl, A., Potzel, M. and Franke, J., (2018), "Lean 4.0-a conceptual conjunction of lean management and industry 4.0." *Procedia CIRP*, 72, 622–628;
- Mourtzis, Dimitris, and Michalis Doukas. 2012. "Decentralized Manufacturing Systems Review: Challenges and Outlook." *Logistics Research* 5 (3–4): 113–121;
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M.K. (2017), "Towards lean production in industry 4.0." *Procedia Engineering*, 182, 466–473;
- Müller, J.M., Buliga, O. and Voigt, K.-I. (2018), "Fortune favors the prepared: how SMEs approach business model innovations in Industry 4.0", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132 No. 1, pp. 2-17;
- Nawanir, G.Email Author, Teong, L.K., Othman, S.N. (2013), "Impact of lean practices on operations performance and business performance: Some evidence from Indonesian manufacturing companies", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Volume 24, Issue 7, 2013, Pages 1019-1050;
- Netland, T. (2015), "Industry 4.0: where does it leave lean?", *Lean Management Journal*, Vol. 5 No. 2, pp. 22-23;
- Powell, D. (2013). ERP systems in lean production: New insights from a review of lean and ERP literature. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(11/12), 1490– 1510;
- Rinehart, J., Huxley, C. and Robertson, D. (1997), "Just Another Car Factory? Lean Production and its Contents", ILR Press, Cornell University Press, Ithaca and London;
- Sadiq S., Amjad M.S., Rafique M.Z., Hussain S., Yasmeen U., Khan M.A. (2021), "An integrated framework for lean manufacturing in relation with blue ocean manufacturing - A case study", *Journal of Cleaner Production*, 279, 123790;
- Sanders, A., Elangeswaran, C. and 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*, Vol. 9 No. 3, pp. 811-833;
- Sanders, A., K. R. Subramanian, T. Redlich, and J. P. Wulfsberg. (2017), "Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?" In *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing*, edited by H. Lödding, R. Riedel, K.-D. Thoben, G. Von Cieminski, and D. Kiritsis, 341–349. Cham: Springer;
- Santos, C., Mehraei, A., Barros, A., Araújo, M., & Ares, E. (2017). "Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps." *Procedia Manufacturing*, 13, 972-979;
- Schling, F. 1994. "Montage zwischen Lean und Automation – der Vorwerk-Weg." In *Unsere Stärken stärken – Der Weg zu Wettbewerbsfähigkeit und Standortsicherung*, edited by J. Milberg and G. Reinhart, 289–301. Gabler Verlag: Springer;
- Schröder, C. (2017), *The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-Sized Enterprises*, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn, available at: <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12683.pdf> (accessed September 19, 2018);
- Shah, R., and P. T. Ward. 2003. "Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance." *Journal of Operations Management* 21 (2): 129–149;
- Shah, R., and P. Ward. 2007. "Defining and Developing Measures of Lean Production." *Journal of Operations Management* 25 (4): 785–805;
- Singh, R., Gohil, A.M., Shah, D.B., & Desai, S. (2013), "Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: a case study." *Procedia Engineering*, 51 (December 2012), 592–599;
- Steenkampa, L.P., Hagedorn-Hansenb, D. and Oosthuizen, G.A., (2016), "Visual Management System to Manage Manufacturing Resources.", 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing (GCSM), Stellenbosch, South Africa;
- SUGIMORI, Y., KUSSUNOKI, K., CHO, F., and UCHIKAWA, S. (1977). "Toyota production system materialization of just-in-time and respect-for-human system". *International Journal of Production Research*, 15 (6), pp. 553–564;
- Takeda, H. 2006. *The Synchronized Production System: Going beyond Just-in-Time through Kaizen*. London: Kogan Page;
- Tang, S.H. and Ghobakhloo, M. (2013), "IT investments and product development effectiveness: Iranian SBs", *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 113 No. 2, pp. 265-293;
- Tortorella G.L., Narayanamurthy G., Thurer M. (2021), "Identifying pathways to a high-performing lean automation implementation: An empirical study in the manufacturing industry", *International Journal of Production Economics*, 231, 107918;
- Tortorella, G., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987;
- Tortorella, G., Giglio, R., & van Dun, D. (2018). Industry 4.0 as a moderator on the relationship between lean and operational performance. In *Proceedings of 25th international annual EurOMA conference*, Budapest, Hungary, June 24–26th;
- Tortorella, G., Silva, E., & Vargas, D. (2018). An empirical analysis of Total Quality Management and Total Productive Maintenance in Industry 4.0. In *Proceedings of international conference on industrial engineering and operations management*, Pretoria/Johannesburg, South Africa, October 30th to November 1st;
- Valamede L.S., Akkari A.C.S. (2020), "Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies", *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 5(5), 854-868;
- Vinodh, S., and D. Joy. 2012. "Structural Equation Modelling of Lean Manufacturing Practices." *International Journal of Production Research* 50 (6): 1598–1607;
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017) "Industry 4.0 impacts on lean production systems." *Procedia CIRP*, 63, 125–131;
- Womack, J. P., D. T. Jones, and D. Roos, (1990) "The Machine That Changed the World", New York: Rawson Associates;

- Womack, J.P. and Jones, D.T. (1994), "From lean production to the lean enterprise", Harvard Business Review, Vol. 72 No. 2, pp. 93-103;
- Zahraee, S.M., Hashemi, A., Abdi, A.A., Shahpanah, A. and Rohani, J.M. (2014b), "Lean manufacturing implementation through value stream mapping: A Case Study", Journal Teknologi, Vol. 68, No. 3, pp. 119-124;
- Zhang, A. (2014). Quality improvement through Poka-Yoke: from engineering design to information system design. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 8(2), 147-159;
- Zhang, L., (2013), "Discussion on Visual Management in Apparel Production Controlling." International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI), 353-359;
- Zuehlke, D. 2010. "SmartFactory – Towards a Factory-of-Things." Annual Reviews in Control 34 (1): 129–138.