



Diferentes abordagens de Gestão da
Produção e da Qualidade para a Indústria 4.0

Danielle Barreto Blanco

UMinho | 2022



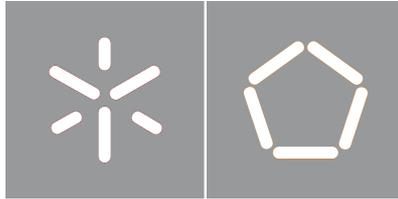
Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Danielle Barreto Blanco

**Diferentes abordagens de Gestão da
Produção e da Qualidade para a
Indústria 4.0**

Dezembro de 2022





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Danielle Barreto Blanco

**Diferentes abordagens de Gestão da
Produção e da Qualidade para a Indústria
4.0**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Leonilde Rocha Varela

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Observar o trajeto que percorri muito me orgulha, as dificuldades enfrentadas e superadas me fizeram crescer não apenas em termos acadêmicos, mas também na minha vida pessoal. Afinal, concluir um mestrado e fortificar o percurso profissional é um sonho que nem sabia que seria possível, ao menos não desta forma. As implicações do sonho como ter a experiência de morar sozinha já seria um desafio, mas realizá-la em uma nova cidade, país e continente representou um novo mundo. Esta caminhada, apesar de todos os percalços e emoções variadas, está sendo linda e por isso só tenho a agradecer. Primeiramente, agradeço a Deus por todas as oportunidades maravilhosas, por me fortalecer todos os dias e por iluminar o meu caminho; a fé é o guia.

Meus agradecimentos em especial vão para a minha família que sempre foi minha base. Agradeço aos meus pais - Sandro e Alynne Blanco - por terem me proporcionado, sempre com todo carinho e preocupação, estudos de qualidade. Ao meu irmão - Felipe Blanco -, a nossa proximidade tanto nos ensinou que logo será a vez dele como mestre engenheiro. Agradeço por todo amor das minhas saudades são diárias: avó Palmira, avó Sandra (*in memoriam*), padrinhos, tios, primos e afilhado. Amo incondicionalmente e com certeza a parte mais difícil é a distância deles.

A minha amiga de infância - Caroline Lourenço -, as minhas amigas da graduação - Ariane, Ana Beatriz e Caroline Guedes - e ao meu grande amigo - Samuel - que me incentivaram a embarcar na melhor fase da minha vida. Aos meus colegas de classe e aos amigos que Portugal me deu - Thaissa, Bianca, Larissa, Alexandre, Eduardo, Bárbara, Beatriz, Ana, Letícia, Arthur, Danilo e muitas outras pessoas incríveis que fizeram parte dessa minha trajetória - por tornar as experiências muito mais agradáveis e engrandecedoras.

Aos meus melhores amigos - José, Iran e Orlando - e ao meu companheiro - Gabriel - que muito me motivaram não apenas emocionalmente, sendo meu apoio e minha família do outro lado do oceano, mas que também me ajudaram diretamente a seguir até o final deste trabalho. Agradeço imensamente por todas as noites a citarem suas próprias experiências como exemplos, aos momentos que me direcionaram e aos que me ajudaram a planejar este trabalho.

Por fim, agradeço com muita estima a minha orientadora - Professora Doutora Maria Leonilde Varela - que me acolheu e contribuiu para desenvolvimento desta pesquisa com atenção, disponibilidade e rapidez.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Diferentes abordagens de Gestão da Produção e da Qualidade para a Indústria 4.0

A Indústria 4.0, com significativo impacto na economia, apresenta uma nova era de produção e gerenciamento de processos. Para que as empresas possam aproveitar os benefícios oferecidos por este avanço tecnológico, compreender melhor como a mesma pode influenciar ou ser influenciada pelas abordagens de gestão apresenta-se como um ponto de estudo. Por essa razão, esta dissertação teve como principal objetivo analisar abordagens de gestão da produção e da qualidade, de maneira a identificar sinergias, bem como discordâncias com atuais exigências impostas pela Indústria 4.0; através da revisão e estudo de diferentes tipos de filosofias, métodos e tecnologias associados aos sistemas integrados de gestão. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura organizada em fases de 0 a 9, com base na proposta de Tranfield, Denyer e Smart. Para seleção dos artigos foi aplicada a metodologia PRISMA, a considerar as principais bases de dados, por meio da plataforma b-on. Esta seleção resultou no estudo de 45 artigos acadêmicos publicados a apresentarem interações da Indústria 4.0 com pelo menos uma das abordagens selecionadas: Gestão Lean, Gestão Ágil, Gestão Colaborativa e Gestão em Tempo Real. Com a finalidade de compreender essas interações foram extraídos dos artigos relatos de vantagens e desvantagens de cada abordagem, relações de integração das abordagens com a Indústria 4.0 e sinergias com as exigências. As principais conclusões atingidas a partir das análises dos resultados apresentam a gestão ágil como a de maior sinergia com a Indústria 4.0, seguida pelas gestões colaborativa, em tempo real e lean, respectivamente. A exigência de virtualização apresentou sinergia classificada como muito alta para todas as abordagens, enquanto o ecodesign foi a única a ser classificada como baixa sinergia com as gestões. Por fim, a partir de todo o estudo realizado foi possível constatar que todas as gestões apresentam grandes vantagens e níveis consideráveis de sinergia e, além de destacarem a Indústria 4.0 como iniciativa capacitadora que permite a integração entre abordagens de gestão, ainda que sejam necessários estudos empíricos, indicam que uma estratégia conjunta de gestão integrada das abordagens é ideal.

Palavras chave: Abordagens de Gestão da Produção e da Qualidade; Sistemas Integrados de Gestão; Indústria 4.0; Gestão Lean; Gestão Ágil; Gestão Colaborativa; Gestão em tempo real.

ABSTRACT

Different approaches of Production and Quality Management for Industry 4.0

Industry 4.0, with a significant impact on the economy, presents a new era of production and process management. A better understanding of how Industry 4.0 can influence or be influenced by management approaches is crucial for companies to take advantage of the benefits offered by this technological advance. Thus, this dissertation aimed to analyze production and quality management approaches to identify synergies and disagreements with current Industry 4.0 requirements. This was achieved through a systematic review of the literature organized into phases, based on the proposal by Tranfield, Denyer, and Smart. The PRISMA methodology was applied to select articles, considering the main databases through the b-on platform. This selection resulted in the study of 45 academic articles that showed interactions between Industry 4.0 and at least one of the selected management approaches: Lean Management, Agile Management, Collaborative Management, and Real-Time Management. To understand these interactions, the articles were analyzed to extract reports of the advantages and disadvantages of each approach, relationships between the approaches and Industry 4.0, and synergies with requirements. The main conclusions from the analysis of the results show Agile Management as having the highest synergy with Industry 4.0, followed by Collaborative Management, Real-Time Management, and Lean Management respectively. The requirement of virtualization showed very high synergy for all management approaches, while ecodesign was the only one to be classified as low synergy with the management approaches. In conclusion, based on the study, it was possible to observe that all management approaches present great advantages and considerable levels of synergy. Industry 4.0 is emphasized as an empowering initiative that allows integration between management approaches, and although empirical studies are necessary, a joint strategy of integrated management approaches is ideal.

Keywords: Production Management Approaches; Management Integrated Systems; Industry 4.0; Lean Management; Agile Management; Collaborative Management; Real-time Management

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	x
SIGLAS E ABREVIACÕES	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.ENQUADRAMENTO.....	1
1.2.OBJETIVOS E QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO.....	3
1.3.ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1.INDÚSTRIA 4.0.....	4
2.1.1. História	4
2.1.2. Tecnologias	6
2.1.2.1. Inteligência artificial (IA)	7
2.1.2.2. Automação.....	8
2.1.2.3. Internet das coisas (internet of things - IoT).....	9
2.1.2.4. Big Data.....	10
2.1.2.5. Computação em nuvem (cloud computing).....	11
2.1.2.6. Sistemas de Simulação	11
2.1.3. Exigências	13
2.2.ABORDAGENS À GESTÃO INTEGRADA DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE.....	15
2.2.1. Abordagem de Gestão Lean	15
Mecanismos de Gestão.....	17
2.2.1.1. Mapeamento do fluxo de valor (Value Stream Mapping - VSM).....	17
2.2.1.2. Just-in-time (JIT).....	18
2.2.1.3. Gestão Visual e Kanban.....	18
2.2.1.4. Métricas de Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	20
2.2.2. Abordagem de Gestão Ágil	21
2.2.3. Abordagem de Gestão Colaborativa	24
2.2.4. Abordagem de Gestão em Tempo Real	26
3. METODOLOGIA	28

3.1.FASE 0: IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE UMA REVISÃO	29
3.2.FASE 1: PREPARAÇÃO DA PROPOSTA DE REVISÃO	29
3.3.FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO DE REVISÃO	29
3.4.FASE 3: IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
3.5.FASE 4: SELEÇÃO DOS ESTUDOS	33
3.6.FASE 5: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS.....	36
3.7.FASE 6: EXTRAÇÃO DOS DADOS E MONITORAMENTO DO PROCESSO	36
3.8.FASE 7: SÍNTESE DOS DADOS.....	36
3.9.FASE 8: RELATÓRIO E RECOMENDAÇÕES.....	38
3.10. FASE 9: BUSCANDO EVIDÊNCIAS NA PRÁTICA	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1.RESULTADOS GERAIS	39
4.2.VANTAGENS E BARREIRAS DAS ABORDAGENS DE GESTÃO.....	49
4.3.EXIGÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0	56
4.4.INTEGRAÇÃO DAS ABORDAGENS	61
4.5.GAPS DA LITERATURA.....	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
Dificuldades e limitações	69
Trabalhos futuros	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - As revoluções industriais.	5
Figura 2 - Ramos da Inteligência artificial.....	8
Figura 3 - Exigências da I4.0	13
Figura 4 - Os estágios da revisão sistemática.....	28
Figura 5 - Quantitativo por fontes.....	31
Figura 6 - Quantitativo por editores.....	31
Figura 7 - Quantitativo por ano	32
Figura 8 - Quantitativos por bloco de estudo	32
Figura 9 - Integração dos blocos (Diagrama de Venn)	33
Figura 10 - Diagrama Prisma da revisão sistemática.....	35
Figura 11 - Quantidade de artigos incluídos por ano	36
Figura 12 - Quantidade de artigos incluídos por bloco principal de estudo	37
Figura 13 - Percentual de métodos de pesquisa dos artigos incluídos.....	38
Figura 14 - Matriz de Interdependência Exigências X Abordagens.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Funções da Gestão visual.....	19
Tabela 2 - As palavras-chaves dos blocos de estudo	29
Tabela 3 - As palavras-chaves dos blocos de estudo descartadas	30
Tabela 4 - Status de artigos disponíveis e revisados	34
Tabela 5 - Quantitativo por editor e bloco.....	34
Tabela 6 - Apresentação dos artigos incluídos.....	40
Tabela 7 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão Lean	50
Tabela 8 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão Ágil	52
Tabela 9 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão Colaborativa	54
Tabela 10 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão em Tempo Real.....	55

SIGLAS E ABREVIações

BIM: *Building Information Modeling* – Modelagem da Informação da Construção

CPS: *Cyber-Physical System* – Sistema Ciberfísico

CPPS: *Cyber-Physical Production System* - Sistemas Ciberfísicos de Produção

GP: Gestão da Produção

I4.0: *Industry 4.0* – Indústria 4.0

IA: Inteligência Artificial

IIoT: *Industrial Internet of Things* – Internet Industrial das Coisas

IoT: *Internet of Things* – Internet das Coisas

JIT: *Just-in-time* – Momento Correto

SMA: Sistemas Multiagentes

LA: *Lean Automation*– Automação Enxuta

NPD: *New Product Development* – Desenvolvimento de novo produto

OEE: *Overall Equipment Effectiveness* - Eficácia Geral do Equipamento

PME: Pequenas e Médias Empresas

RFID: *Radio-Frequency Identification* - Identificação por radiofrequência

VSM: *Value Stream Mapping* - Mapa de valor

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório faz-se o enquadramento do tema a dissertação, assim como são definidos os objetivos, as questões de investigação e a estrutura do documento.

1.1. ENQUADRAMENTO

Com a situação epidemiológica enfrentada no mundo, muitos são os desafios propostos nos diversos setores de produção. Fatos como a incorporação da tecnologia e o envelhecimento da população também contribuem para o aumento dos custos. Galhardi e Tabeta (2021) reforçam que a conjuntura econômica torna o ambiente industrial mais competitivo e para se adaptar às mudanças, a indústria precisou buscar novas formas de produção e gestão de processos.

A fim de atingir o cumprimento do orçamento, com o crescimento e a consolidação dos negócios, verificaram-se oportunidades relacionadas à melhoria da eficiência operacional, logo a Indústria 4.0 (ou I4.0) se desenvolve como a nova era da produção, fruto do avanço tecnológico e digital. Para além da criação de novas oportunidades econômicas, Wadhwa e Salkever (2017) e Tapscott e Tapscott (2016) também têm discutido o papel da I4.0 na transformação da sociedade.

Neste cenário de pressão por melhoria da qualidade e procedimentos que agreguem valor à percepção dos clientes, os estudos voltados à melhoria contínua crescem e, de modo a compensar esta cena, inúmeras ferramentas de gestão passam a ser utilizadas ainda que parcialmente dentro das organizações (de Moura & de Almeida, 2021). Entretanto, conforme Rosin et al. (2020), para uma organização implementar de forma produtiva a Indústria 4.0, além dos processos serem padronizados em fluxo contínuo se faz necessário o envolvimento de todos os colaboradores, independentemente do nível hierárquico.

Atualmente, com a I4.0, as empresas mostram-se preocupadas em aplicar novas abordagens integradas de gestão da produção e da qualidade que lhes permitam, junto aos habituais requisitos inerentes aos próprios processos e fluxos de produção, garantir a satisfação de requisitos da qualidade (Christopher 2010; Costantino et al. 2012; Putnik & Ferreira, 2019).

As abordagens têm, tradicionalmente, sido essencialmente baseadas na corrente filosófica da Gestão *Lean*, que surgiu com objetivo de promover um ciclo de transformações de forma consistente e duradoura, baseada na eliminação de desperdícios e na maximização da eficiência. Através de

mecanismos como as associadas métricas de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) (Gajdzik, 2014; Wilson, 2010), princípios de *Just-in-Time* (JIT), de gestão visual, como o *kanban* (D. Lu, 1989), e de *Value Stream Mapping* (VSM) (Dotoli et al., 2014).

Mais recentemente surgiram correntes de gestão fortemente direcionadas para fazer face aos atuais requisitos impostos pela I4.0 como: a abordagem de Gestão Ágil, uma abordagem flexível e orientada ao cliente que se adapta rapidamente à mudança, e; a abordagem de Gestão Colaborativa, a enfatizar a colaboração, trabalho em equipa e a troca de recursos de modo a beneficiar todas as partes envolvidas (Chukwu et al., 2013; G. Huang et al., 2008; Vieira et al., 2018).

Adicionalmente, abordagens de Gestão em Tempo Real, baseadas no uso da simulação, por si só ou combinadas com outras tecnologias mais recentes, como de *digital twin* e de realidade aumentada, são também e cada vez mais, uma realidade e necessidade (Boschert & Rosen, 2016; Negri et al., 2017; Vachálek et al., 2017).

Conforme observado por Tortorella et al. (2019), o interesse a respeito das tecnologias 4.0 - de profissionais, de académicos e, até mesmo, de governos - cresceu, à medida que relatos de benefícios da integração deste avanço tecnológico com as abordagens de gestão da produção e seu impacto nos negócios e na sociedade foram evidenciados. Devido a ampla adoção em diferentes contextos e setores industriais, os estudos relacionados a quarta revolução industrial estão cada vez mais em destaque (Fettermann et al., 2018). Entretanto, ainda se fazem necessárias mais investigações com relação aos impactos reais, barreiras e fatores críticos de sucesso para este novo ambiente (Dalenogare et al., 2018; Kamble et al., 2020b; Park & Lee, 2017; Závadská & Závadský, 2018).

Além disso, outros autores como Schwab (2016) e Brynjolfsson e McAfee (2014) destacam que compreender como a Indústria 4.0 pode influenciar ou ser influenciada pelas abordagens de gestão, é relevante para que as empresas estejam preparadas para aproveitar os benefícios e oportunidades oferecidos, mas também lidar com os desafios que acompanham essa mudança. Desta forma, para otimizar a Gestão da Produção (GP) tendo como finalidade obter o máximo proveito, em termos de eficácia e eficiência da sua aplicação torna-se necessário, desde logo, identificar os principais aspetos e requisitos. Com isso, a análise e exploração destas abordagens pretende-se neste trabalho, dada a sua potencial mais-valia na gestão industrial.

1.2. OBJETIVOS E QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO

O presente trabalho possui como principal objetivo analisar abordagens de gestão da produção e da qualidade, de maneira a identificar sinergias, bem como discordâncias com atuais exigências impostas pela Indústria 4.0; através da revisão e estudo de diferentes tipos de filosofias, métodos e tecnologias associados aos sistemas integrados de gestão.

Sendo assim, pretende-se compreender como se relacionam os tópicos que compõem este tema, por isso os objetivos específicos passam por:

- Auxiliar na identificação de potenciais vantagens e barreiras associadas aplicação dos diferentes tipos de abordagens identificadas;
- Contribuir para uma análise crítica de diferentes tipos de abordagens de gestão da produção e da qualidade;
- Contribuir para o melhoramento dos processos de tomada de decisão na gestão integrada da produção e da qualidade.

A fim de oferecer uma visão geral do cenário, o estudo deve ainda responder às questões de investigação:

- Quais são as principais vantagens versus inconvenientes ou dificuldades da integração de abordagens de gestão da produção e da qualidade com a Indústria 4.0?
- Existe uma abordagem mais indicada do que as demais para contribuir com a Indústria 4.0?

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido em capítulos, iniciando com a introdução, onde estão descritos o enquadramento do tema, os objetivos e as questões de investigação e, ainda, uma breve apresentação dos capítulos da dissertação. Seguido revisão da literatura, onde é realizado o levantamento teórico acerca das principais definições, do geral ao específico, da Indústria 4.0 e das quatro abordagens de gestão selecionadas: Gestão Lean, Gestão Ágil, Gestão Colaborativa e Gestão em Tempo Real. O terceiro capítulo apresenta detalhadamente a metodologia de investigação utilizada para validação da pesquisa. O capítulo quatro reúne dados, analisa-os e discute os resultados da investigação; dividido em resultados gerais, vantagens e barreiras das abordagens de gestão, relação das abordagens com exigências da I4.0, integração das abordagens com a I4.0 e *gaps* encontrados na literatura. Por fim, o quinto capítulo apresenta as principais conclusões deste estudo, contemplando também as limitações do estudo e sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esse tópico apresentará as definições e os conceitos necessários para entender o desenvolvimento do projeto, com a finalidade de embasar teoricamente as análises realizadas neste trabalho.

2.1. INDÚSTRIA 4.0

O termo Indústria 4.0 até o final de 2021 chegou a registrar quase 20.000 resultados de artigos de revisão no google acadêmico a demonstrar um crescimento acelerado do tema e sua relevância não apenas para fins acadêmicos e organizações que enfrentam desafios contínuos de aumento de produtividade e personalização de produtos, como também para sociedade que pode ser afetada positivamente ou não com as suas práticas. Ressaltada a relevância, esse tópico tem como objetivo realizar uma revisão a respeito da história, tecnologias e exigências referente a I4.0

2.1.1. História

Uma revolução industrial é caracterizada por profundas mudanças tecnológicas, que impactam nas esferas econômica, social e política (Schwab, 2016).

A primeira revolução industrial ocorreu por volta de 1760. Impulsionada por tecnologias mecânicas, como máquinas à vapor a substituir processos artesanais ou uso de animais para gerar força, bem como o avanço ferroviário. A segunda revolução, iniciada a partir de 1850, alterou o cenário de processo manual e sem padronização para um processo mecanizado. O período também foi marcado pelo surgimento da eletricidade e introduziu a produção em massa. Em cerca de 1970, as indústrias já apresentam o processo automatizado, alta demanda de energia e microtecnologia com apoio computacional, a caracterizar a terceira revolução industrial (Hermann et al., 2015; Kagermann et al., 2013; Schwab, 2016).

A quarta revolução difere de qualquer uma das anteriores, a ser considerada como a de maior valia, ao possuir profundas ramificações a afetar todas as disciplinas, economias e governos (Schwab, 2016). Uma iniciativa estratégica alemã, mencionada em 2011 entre os projetos do futuro para atingir o pioneirismo sob indústria integrada (Drath & Horch, 2014; Kagermann et al., 2013), possibilita que atividades mais complexas sejam exercidas pela robótica ao interconectar as áreas que compõe um processo produtivo através de redes inteligentes (Xu et al., 2018). A Figura 1 expõe algumas das principais características das quatro revoluções industriais.

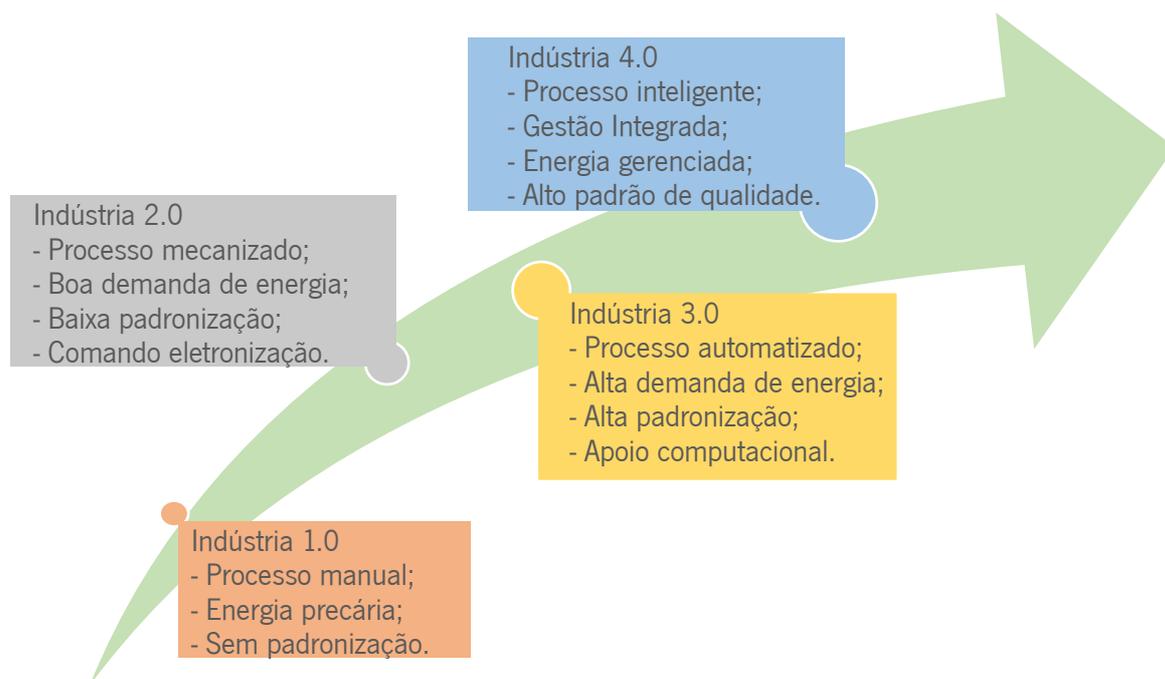


Figura 1 – As revoluções industriais.

Apesar da utilização da automação já estar presente desde a terceira revolução, a indústria 4.0 expõe um processamento inteligente com gestão integrada, energia gerenciada e alto padrão de qualidade (Hermann et al., 2016). As linhas de produção, por exemplo, eram caracterizadas como estáticas com sequências pré-definidas, o que dificultava a reconfiguração do espaço para as variantes de produtos, problema minimizado com o surgimento das linhas dinâmicas de produção da I4.0 (Kagermann et al., 2013).

Habilitada pelo aumento de sensores, comunicação, computação em nuvem e tecnologias analíticas de *big data*, a indústria 4.0 vem recebendo muita atenção no setor industrial devido ao seu potencial para produções industriais mais inteligentes e eficientes (Li et al., 2017). A I4.0 permite uma maior autonomia de produção à medida que as tecnologias se tornam interconectadas, com máquinas capazes de influenciar outras máquinas (Villalba-Diez & Zheng, 2020), de maneira a criar um sistema ciberfísico, ou *Cyber-Physical System* (CPS), estreita combinação e coordenação entre recursos computacionais e físicos.

Os sistemas ciberfísicos de produção, ou *Cyber-Physical Production System* (CPPS), compõe a I4.0 na finalidade de aprimorar os processos reais de controle e gerenciamento do sistema de manufatura e, conseqüentemente, o processo de tomada de decisão, cujo o tempo de duração possui influência direta no tempo de conclusão de um projeto (Alves & Putnik, 2019).

A destacar que a exploração de arquiteturas distribuídas para aumentar a capacidade de processamento computacional é um ciclo contínuo de aprendizado e realinhamento para se adequar às incertezas do contexto, Putnik et al. (2019) acreditam que os CPS, com seu comportamento lógico e funcional, representam os sistemas de suporte desse cenário.

Diferentemente da crença convencional, pesquisadores defendem que a automação não resulta em menos interações humanas; entretanto o perfil do trabalhador já está a ser alterado (Dworschak & Zaiser, 2014; Weyer et al., 2015). Conforme Schwab (2016), a tecnologia capacita as pessoas, não as substitui; o progresso não objetiva causar danos, mas sim servir à sociedade e; os inovadores respeitam os limites morais e éticos, em vez de cruzá-los.

O conhecimento dos funcionários determina a qualidade e eficiência do sistema fabril (Stadnicka et al., 2019). Afim de obter a vantagem competitiva necessária para as organizações da quarta revolução, os profissionais, para além dos conhecimentos técnicos, devem ser capazes de solucionar problemas com criatividade e inovação (Aires et al., 2017) Os requisitos de habilidades dos indivíduos devem aumentar e se tornar ainda mais (Tortorella et al., 2017).. Portanto, com os requisitos de habilidades dos indivíduos a aumentar ainda mais (Tortorella et al., 2017), a valorização da aprendizagem contínua precisa ser incluída na cultura organizacional (Senge, 1990).

2.1.2. Tecnologias

A Indústria 4.0 abrange uma ampla gama de tecnologias, processos e sistemas relacionados principalmente à digitalização da indústria (Sahal et al., 2020). Conforme Schuh et al. (2014), tecnologias capazes de processar e armazenar grandes quantidades de dados, trocar informações e garantir um alto nível de disponibilidade de informações foram desenvolvidas para controlar fluxos de materiais complexos com prazos de entrega curtos. O conjunto destes conceitos que compõem a I4.0 tem sido categorizado de forma diferente na literatura.

Rubmann et al. (2015) apontam nove pilares tecnológicos que constituem a base da I4.0: robôs autônomos, simulação, integração de sistemas horizontais e verticais, Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), cibersegurança, computação em nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada e *big data*. Já Li et al. (2017) identificam um espectro de tecnologias desenvolvidas ao longo dos anos como identificação por radiofrequência, ou *Radio-Frequency Identification* (RFID), na década de 1940; Inteligência Artificial (IA) nos anos 50; sensores nos anos 70; 3D *printing* ou manufatura aditiva nos anos

80; Internet das coisas nos anos 90; sistemas ciberfísicos por volta de 2005; computação em nuvem em 2006; *big data* em 2008 e; muitas outras tecnologias de informação e comunicação que crescem exponencialmente.

Baseado em uma extensa revisão, Xu et al. (2018) listaram quatro principais tecnologias: a internet das coisas, a computação em nuvem, os sistemas de simulação e a integração industrial, arquitetura empresarial e integração de aplicações empresariais.

Muitas são as tecnologias que podem constituir a quarta revolução e, ainda que com divergências nominais ou agrupadas de maneira diferente, os estudos existentes costumam destacar o mesmo conjunto de tecnologias (Tortorella, Rossini, Costa, Staudacher, et al., 2019).

2.1.2.1. Inteligência artificial (IA)

Em Ciência da Computação, inteligência artificial significa o estudo de qualquer dispositivo capaz de entender o ambiente ao qual está inserido e executar ações que maximizem a probabilidade de alcançar objetivos com sucesso (Shinde & Shah, 2018).

Um sistema inteligente é capaz de processar informações, aprender e tomar decisões autônomas com base nesse conhecimento. O *machine learning*, subcampo da inteligência artificial, refere-se justamente ao aprendizado autônomo da máquina. Essa tecnologia não é uma novidade, a exploração do assunto teve início a partir dos anos 50, já o desenvolvimento de algoritmos práticos foi nos anos 70 e a explosão de pesquisas direcionadas a ela, nos anos 80 (Shavlik et al., 1990).

Uma alternativa relevante para otimização, controle e solução de problemas na fabricação (Alpaydin, 2020), como detecção de anomalias na operação causadas por ataques cibernéticos, que fazem cada vez mais alvos entre os modernos sistemas de controle industrial, são as técnicas de aprendizado de máquina (Sokolov et al., 2019).

Conforme Mahesh (2020), o aprendizado de máquina é um estudo científico de algoritmos e modelos estatísticos, com o qual sistemas computacionais realizam uma tarefa específica sem serem explicitamente programados. Em outras palavras, através da análise dos dados do histórico das produções a fazer uso da inteligência artificial para aprender o que deve ser feito com esses dados, o sistema será capaz de realizar uma nova tarefa automaticamente; de modo que quanto mais dados disponíveis, mais confiável será o resultado e a decisão tomada pela máquina.

Enquanto *machine learning* divide um problema em partes menores para gerar o resultado, um ramo do aprendizado de máquina gera descobertas de ponta a ponta (Shaukat et al., 2020). O aprendizado profundo, ou *deep learning*, utiliza algoritmos mais complexos capazes de modelarem abstrações de dados de alto nível e gerar informações com eficiência em um grafo mais profundo.

Com várias camadas de processamento – diferentemente do *machine learning*, que normalmente trabalha de maneira mais linear – o *deep learning* consegue lidar com grandes quantidades de dados. As camadas inferiores, próximas à entrada de dados, aprendem recursos simples, enquanto as camadas superiores aprendem recursos mais complexos derivados de recursos da camada inferior (Shinde & Shah, 2018). Ao imitar redes neurais, as máquinas que utilizam essa tecnologia são treinadas para realizar tarefas como seres humanos, o que inclui reconhecimento de fala, identificação de imagem e previsões (Howard, 2019).

Em síntese, como representado pela Figura 2, a inteligência artificial possui uma tecnologia conhecida como *machine learning*, ou aprendizado de máquina, que por sua vez, possui um aprofundamento chamado *deep learning*, ou aprendizado profundo.

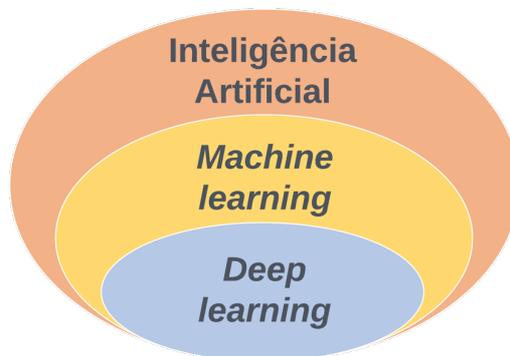


Figura 2 – Ramos da Inteligência artificial

Através da inteligência artificial, com as tecnologias de *machine learning* e *deep learning*, a automação também passa por avanços, com os robôs capazes de adquirirem novas habilidades.

2.1.2.2. Automação

Com a finalidade de minimizar tarefas repetitivas, rotineiras, com base em regras (Ivančić et al., 2019), ou então consideradas perigosas, com maior probabilidade de erro humano (Siderska, 2020), a automação da robótica está introduzida entre as principais tecnologias da indústria 4.0.

Desenvolvimentos tecnológicos em sistemas de automação trouxeram inúmeras vantagens e

oportunidades em termos de flexibilidade, produção econômica, redução de inatividade e a otimização dos processos de produção (Jamwal et al., 2021).

Além das máquinas deterem a capacidade de adquirirem novas habilidades sem interferência externa com a inteligência artificial e tecnologias como o *machine learning*, os robôs autônomos são caracterizados por conseguirem operar sem o auxílio de um agente humano, sendo capazes de se deslocar, realizar atividades e, até mesmo, suprir necessidades próprias como a auto manutenção (Kolberg & Zühlke, 2015; Marodin & Saurin, 2015).

A Robótica Autônoma e Colaborativa surge com grande potencial na criação de locais de trabalho híbridos onde humanos e robôs trabalham de forma colaborativa (Pereira et al., 2019). Bragança et al. (2019) defendeu a robótica colaborativa, como a colaboração humano-robô, tarefas cognitivas e tarefas físicas, com a apresentação uma visão geral sobre robótica colaborativa para apoiar trabalhadores na manufatura da quarta revolução.

Os robôs colaborativos pertencem às tecnologias capacitadoras da I4.0 (Huang et al., 2019) que permitem a configuração de células de trabalho semiautomáticas onde robôs e humanos colaboram na execução de tarefas complexas, com maior flexibilidade (Antonelli & Bruno, 2019). Os sistemas com inteligência artificial tomam decisões a serem aplicadas de forma integrada por todos os robôs e máquinas, através da Internet das coisas.

2.1.2.3. Internet das coisas (internet of things - IoT)

A internet das coisas foi apelidada dessa forma no final dos anos 90, após o conceito ser desenvolvido por um grupo de programadores da Carnegie Mellon University, no início dos anos 80 (Oliveira e Sá et al., 2019). Em essência refere-se a uma infraestrutura de rede global, que permite a troca ágil de dados, pacotes e informações (Liao et al., 2018); por meio da conexão via internet de dados, pessoas e dispositivos de computação com capacidades de detecção e/ou atuação (Oliveira e Sá et al., 2019). Nomeadamente, a Internet das Coisas está relacionada a capacidade de obtenção de dados por sensores industriais, bem como a maneira que as máquinas se comunicam entre si (Ascorti et al., 2017).

Ao tornar possível a realização de análises em tempo real, a integração dos padrões e tecnologias da internet das coisas nos processos industriais é a espinha dorsal da quarta revolução industrial (Drath & Horch, 2014; Liao et al., 2018). Esta tecnologia auxilia na redução nos custos operacionais e melhorara o desempenho da produção com a eliminação de erros e desperdícios, entre tantos outros benefícios

tangíveis a sociedade, ao meio ambiente e a economia, através da informação e comunicação (Borgia, 2014).

A respeito da Internet Industrial das Coisas, ou *Industrial Internet of Things* (IIoT), muitos esforços de pesquisa têm sido dedicados a garantir segurança, manter a qualidade dos serviços, habilitar a manufatura inteligente e melhorar a energia eficiente (Liao et al., 2018). Adotados ou aprimorados pela IIoT, a computação avançada, como *big data* ou computação em nuvem são outras tecnologias que compõe a I4.0.

2.1.2.4. Big Data

Big Data são todos os dados disponíveis para análise em um grande banco de dados; é um termo para conjuntos de dados massivos com estrutura grande, variada e complexa (Sagiroglu & Sinanc, 2013; Shi et al., 2016). Esses conjuntos podem ser explicados dada a heterogeneidade dos dados ocasionada pela falta de padronização em seus registros, assim como a natureza de diferentes aplicativos também resulta em diversas representações de dados (Wu et al., 2014).

Caracterizado um grande volume de dados gerados em alta velocidade e com variedade de formatos (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013), Laney (2001) definiu Big Data como a combinação de três V's: Volume (grande quantidade de dados), Velocidade (alta velocidade de geração e processamento dos dados) e Variedade (diversidade de fontes e formatos dos dados). Posteriormente, Laney (2012) adicionou mais três V's ao conceito: Variação (mudanças na estrutura e conteúdo dos dados), Veracidade (confiabilidade dos dados) e Valor (potencial de análise e insights que os dados podem proporcionar).

Com dificuldades de armazenamento, análise e visualização para processos ou resultados posteriores; lidar com dados de fabricação é um problema de manipulação de *big data* (Sahal et al., 2020). O cuidado quanto a segurança e privacidade dos dados se mostra ser a maior preocupação da tecnologia (Iszczuk et al., 2021).

A tecnologia é referência para análise eficiente e transformação de dados não estruturados em informações valiosas (Felix & Silva, 2020). Os grandes dados são posteriormente armazenados a partir da tecnologia de *cloud computing*.

2.1.2.5. Computação em nuvem (cloud computing)

Aplicativos e tecnologias em nuvem estão se tornando cada vez mais populares, ainda que com recursos limitados. Isso porque a nuvem é uma parte central da Indústria 4.0, a ser entendida como elemento básico de um sistema ciberfísico (CPS) (Atobishi et al., 2018). A computação em nuvem (*cloud computing*) é uma tecnologia que permite acesso - rápido, conveniente e sob demanda - à rede de um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis, como redes, servidores ou serviços de armazenamento.

Inicialmente, a computação em nuvem surgiu para lidar com a questão de onde guardar uma quantidade extensa de dados, *big data*. O armazenamento em nuvem é um modelo composto por serviços de controle, aplicação, *software* e *hardware* que permite armazenar dados remotamente na internet. Pela capacidade de eliminar barreiras, como a liberação de espaço físico nos sistemas de *hardware* (Avram, 2014) e, ainda, a possibilidade de acesso dos dados ao redor do mundo e em tempo real por máquinas interligadas (Yen et al., 2014), colaboradores, fornecedores e clientes conseguem uma maior integração.

Com os processos de produção mais flexíveis por meio da conexão de sistemas e compartilhamento de dados, a agilidade e a eficiência dos seguimentos de gestão e de produção são aumentadas (Velásquez et al., 2018). Afinal, os recursos da nuvem são compartilhados entre um grande número de usuários, de maneira que é possível trabalhar em simultâneo com pouco esforço.

2.1.2.6. Sistemas de Simulação

Tecnologias relacionadas a interfaces avançadas, como a realidade virtual e aumentada ou gêmeos digitais, capazes de promover e aprimorar a colaboração entre entidades, são fundamentais hoje (Varela et al., 2022).

Em 1991, o cientista da computação David Gelernter publicou um livro chamado "*Mirror Worlds*", que posteriormente, com Michael Grives, veio a se tornar o conceito de *digital twins*. O conceito de *digital twin*, ou gêmeo digital, surgiu para projetar o mundo físico e fontes de dados acessíveis à *softwares* e usuários em plataformas digitais (Datta, 2016). Nomeadamente, o gêmeo digital, demonstra a interação de processos de produção reais com um modelo de simulação digital, tratando-se de uma réplica virtual de um produto, serviço ou processo (Vachálek et al., 2017).

A proposta de valor final de um *digital twin* é permitir a comunicação entre dispositivos e sistemas em tempo real e, mais importante, automaticamente (Laaki et al., 2019). Dessa maneira esta tecnologia é

capaz de prever o potencial de um projeto, bem como atender necessidades e requisitos do cliente, com aderência a qualidade, sem desperdícios de tempo ou material.

Nesse sentido, para Boschert e Rosen (2016) todo protótipo utilizado para espelhar as condições reais de operação para simulação do comportamento em tempo real pode ser visto como um gêmeo. Ao melhorar os processos por meio da análise de dados em tempo real por objetos automatizados, os gêmeos digitais fazem parte da base da Indústria 4.0 (Negri et al., 2017). Eles trabalham para quantificar e executar diversos cenários a fim de ajudar na tomada da melhor decisão.

Por meio do armazenamento digital de dados, é possível simular o resultado final e o modelo de desempenho do projeto em detalhes, pode-se mapear todo o seu ciclo de vida, agilizar o desenvolvimento e economizar o custo de protótipos reais.

Conforme Boschert e Rosen (2016), a principal abordagem do *digital twin* é incluir os dados mais relevantes, necessários para etapas seguintes. De maneira inteligente, aumenta a produtividade e desperta novas ofertas de serviço, para então fechar o ciclo e retornar a fase de design com revisões e atualizações. A ligação de múltiplos produtos digitalmente eleva os conceitos de internet das coisas, *machine learning* e inteligência artificial, capaz de facilitar a determinação de que opções têm maior probabilidade de sucesso.

A tecnologia *Building Information Modeling* (BIM), por exemplo, aplicada à visualização arquitetônica mais realista, capaz de realizar a modelagem de informações para edifícios e criar gêmeos digitais de alta precisão de edifícios. Esses modelos incluem informações sobre arquitetura, estrutura, instalações, sistemas mecânicos e elétricos, entre outros aspectos e ainda, permitem a colaboração em tempo real entre todas as partes envolvidas em um projeto de construção, de maneira a melhorar a eficiência, a qualidade e a segurança do projeto.

Já a realidade aumentada se refere à combinação de elementos virtuais em um ambiente real, que é diferente da realidade virtual. Trata-se de um ambiente imersivo criado por ferramentas computacionais capaz de abrir uma nova dimensão na maneira como são executadas as tarefas. Na quarta revolução, a realidade aumentada permite aos usuários visualizar informações digitais relevantes de forma intuitiva e imersiva, melhorando a sua experiência no ambiente real, sendo capaz de treinar a equipa, detectar falhas no projeto e até mesmo corrigi-las. (Hollerer et al., 2008; Hu & Billingham, 2006; Krantz & White, 2007).

2.1.3. Exigências

Diante ao objetivo da pesquisa e com evolução das tecnologias embarcadas na indústria atual, torna-se imprescindível conhecer os princípios essenciais para o bom funcionamento destas tecnologias e consequente, exigências da indústria 4.0.

Nesse contexto, Hermann et al. (2015) assim como Rodrigues et al. (2016) e Mabkhot et al. (2018) indicam seis exigências que mais se destacam, derivados das tecnologias da I4.0: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação ao serviço e modularidade.

Uma forma de promover a sobrevivência e a sustentabilidade das organizações nesta próxima era da quarta revolução industrial é o uso eficiente dos recursos (Ferreirinha et al., 2019). Habib e Chimsom (2019), em concordância com Rio, Reyes e Roucoules (2010), adicionam uma sétima exigência, para o desenvolvimento bem-sucedido de sistemas I4.0 sustentáveis, que vem ganhando notoriedade na literatura: ecodesing.

Essas exigências visam tornar a fábrica inteligente e adaptável, com capacidade de comunicação e colaboração entre sistemas, de monitoramento remoto, de tomada de decisões autônomas, de operações confiáveis e ágeis, prestação de serviços integrados, flexibilidade de produção, além da preservação ambiental. Para com a existência destas exigências, reunidas na Figura 3, as mesmas devem ser seguidas com rigor para a implantação do modelo da quarta revolução industrial, o que demonstra a necessidade do aprofundamento do conhecimento em relação a cada princípio.



Figura 3 - Exigências da I4.0

- Interoperabilidade – o princípio que realmente torna uma fábrica inteligente traduz-se como a capacidade dos sistemas comunicarem-se uns com os outros por intermédio da internet das coisas (Sakurai & Zuchi, 2018) e ainda, a permissão de trabalharem juntos, acessando e usando facilmente as funcionalidades, tecnologias, componentes e agentes, humanos ou robóticos, uns dos outros (Chen et al., 2008; Y. Lu, 2017; Van Overeem et al., 2007);

- Virtualização – a fim de rastrear e monitorar o sistema industrial de forma remota, a fábrica inteligente cria uma cópia virtual de todos os processos realizados no ambiente circundante do mundo real. Os dados de sensores em tempo real, constantemente sincronizados e atualizados, são utilizados não apenas para acompanhar e controlar processos físicos, mas também como bancos de teste (Lee, 2019). Esta modernização é capaz de realizar simulações de situações adversas e protótipos de produtos, que permitem o treinamento dos colaboradores e uma maior flexibilidade de produção, com a possível inclusão do cliente no desenvolvimento do projeto (Habib & Chimsom, 2019).

- Descentralização – garante a capacidade dos sistemas ciberfísicos trabalharem de forma independente; com módulos autônomos a tomar decisões sobre as necessidades da produção em tempo real (Brettel et al., 2014). Habib e Chimsom (Habib & Chimsom, 2019) afirmam que com a delegação de possíveis gargalos na produção para módulos superiores (integração vertical) ou semelhantes (integração horizontal), o sistema é capaz de lidar com um ambiente mais complexo e personalizado.

- Capacidade de operação em tempo real – de maneira praticamente instantânea, este princípio permite a rápida tomada de decisão inteligente para o regimento da operação, a partir da aquisição e tratamento de dados em tempo real. Ao auxiliar na identificação de falhas, necessidade de manutenção e, conseqüente, segurança da operação, a capacidade de operação em tempo real aumenta a confiabilidade e influencia na efetividade global da produção, com a minimização de desperdícios e otimização dos processos (Netto, 2018; Sobreira, 2018).

- Orientação de Serviços – à medida que os produtos alcançam a igualdade competitiva, as indústrias manufatureiras se tornam prestadoras de serviços, com o foco voltado à venda integrada de produtos e serviços (Mabkhot et al., 2018). Esta mudança no paradigma introduzida permite a inclusão do cliente ao mesmo tempo em que aumenta a criação de valor e a lucratividade nas indústrias (Habib & Chimsom, 2019).

- Modularidade – este princípio pode ser definido como a capacidade dos componentes do sistema

serem separados e combinados de forma fácil e rápida, de acordo com a demanda (Mabkhot et al., 2018). A modularidade é caracterizada pelo sistema mais flexível e adaptável que, através da velocidade de desenvolvimento de novos produtos aumentada e o tempo de colocação no mercado reduzido, é capaz de entregar uma maior variedade de produção (Baldwin & Clark, 2000).

- Ecodesing – ao representar uma preocupação quanto os danos das atividades industriais, este princípio busca minimizar ou eliminar os impactos ambientais causados tanto pelos equipamentos e ferramentas utilizadas no projeto de produtos e serviços, quanto os dos próprios produtos (Rio et al., 2010). Com esse objetivo, os processos produtivos, produtos e, até mesmo, serviços são pensados e desenhados de maneira a atingi-lo (Jabbour et al., 2018).

Como pôde ser visto, as exigências da I4.0 são essenciais para a sua existência. A implementação de um processo de produção robusto - apesar das influências ambientais dinâmicas - é tarefa do controle de produção (Schuh et al., 2011). Sendo assim, as relações da quarta revolução industrial com as diferentes abordagens de gestão da produção devem ser levadas em consideração no processo de tomada de decisão por parte de seus executores para que os objetivos desejados sejam atingidos. Neste âmbito, torna-se imprescindível o conhecimento das diferentes abordagens de gestão da produção e da qualidade para perceber como elas podem se integrar.

2.2. ABORDAGENS À GESTÃO INTEGRADA DA PRODUÇÃO E DA QUALIDADE

Este tópico introduzirá os principais conceitos das quatro abordagens de gestão selecionadas para o desenvolvimento do trabalho, com a finalidade de embasar e se fazer compreender teoricamente.

2.2.1. Abordagem de Gestão Lean

O *Lean Thinking*, conhecido também como Pensamento Enxuto, não é considerado uma ferramenta de gestão da produção ou da qualidade. A produção enxuta é geralmente descrita a partir de dois pontos de vista: o filosófico, relacionado aos princípios norteadores e superação do objetivo e; o prático, que diz respeito a um conjunto de práticas, ferramentas ou técnicas de gestão que podem ser observadas diretamente (Krishna & Nair, 2018).

Trata-se de uma filosofia de negócios, uma abordagem que visa a eliminação de perdas e possui grande foco ao cliente e ao que ele enxerga como valor no produto ou serviço adquirido, qualidade de acordo com os requisitos do cliente (Jasti & Kodali, 2015; Junior & Godinho Filho, 2010; Womack et al., 1992).

O objetivo desta abordagem é a busca contínua de melhorias para os processos, tornando-os mais eficientes por meio da entrega livre de perdas (Liker, 2004; Papadopoulou & Özbayrak, 2005; Womack et al., 1992; Womack & Jones, 1996).

Com seu início na década de 1950, período posterior a Segunda Guerra Mundial, a produção ou manufatura enxuta (*lean manufacturing*) surgiu no Japão, especificamente com aplicação na *Toyota Motor Company*. De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da Toyota, perceberam que, devastados pela guerra, a manufatura em massa não funcionaria mais no Japão, uma vez que o mercado não dispunha de recursos para realizar os altos investimentos necessários para a implantação do sistema de Henry Ford e *General Motors*. Então, adotaram uma nova abordagem para a produção, um novo modelo gerencial.

Desde então, diversos nomes trouxeram o conceito de manufatura enxuta e são várias as definições desta filosofia, conforme apresentado abaixo:

“A busca de uma tecnologia de produção que utilize a menor quantidade de equipamentos e mão-de-obra para produzir bens sem defeitos no menor tempo possível, a entender como desperdício todo e qualquer elemento que não contribua para o atendimento da qualidade, preço ou prazo requerido pelo cliente. Eliminar todo desperdício através de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da companhia (Shinohara, 1988).”

“Há de conferir o máximo número de funções e responsabilidades a todos os trabalhadores que adicionam valor ao produto na linha, e a adotar um sistema de tratamento de defeitos imediatamente acionado a cada problema identificado, capaz de alcançar a sua causa raiz (Womack et al., 1992).”

O pensamento enxuto objetiva a qualidade e flexibilidade do processo, com um foco especial no corte de desperdícios, busca incessante da eliminação de toda e qualquer perda. Esses objetivos foram estabelecidos visando ampliar a capacidade de produção, a fim de competir no cenário globalizado. A ideia base é produzir apenas o que é preciso e no momento requisitado (Ohno, 1997).

Os princípios *Lean* podem oferecer melhor qualidade e uma melhor experiência ao cliente, ao mesmo tempo em que fazem melhor uso dos recursos existentes. Melhorando ainda a experiência profissional dos colaboradores, que passam a trabalhar de maneira mais confiante no ambiente caracterizado por incertezas severamente menores que os caóticos ambientes fabris típicos (Wilson, 2010).

A seleção de práticas e ferramentas da *lean production* apropriadas e a identificação de sua aplicabilidade

em um ambiente operacional apresentam um desafio adicional para a gestão (Herron & Braiden, 2006). Por essa razão, a abordagem de gestão *lean* é comumente aplicada em parte nas organizações; em setores específicos ou apenas com ferramentas específicas (Hines et al., 2004).

Posteriormente, acabam por perceber que suas práticas devem ser aplicadas em toda a cadeia de suprimentos, incluindo desenvolvimento de produtos, aquisição da matéria prima, distribuição logística e serviço para maior relevância em melhorias no fluxo de valor (Bhasin & Burcher, 2006), não apenas no chão de fábrica (Shah & Ward, 2007).

Cabe ressaltar que, dentre as abordagens de gestão da produção e qualidade selecionadas, o *lean* é o único cujo a integração com a indústria 4.0 já possui uma denominação: a automação enxuta, ou *Lean Automation* (LA). Referindo-se a aplicação das tecnologias da I4.0 aos métodos da produção enxuta, de maneira a combinar benefícios de ambas aplicações (Kolberg et al., 2017; Kolberg & Zühlke, 2015).

Mecanismos de Gestão

Nesse tópico serão apresentadas algumas ferramentas ou filosofias geralmente utilizadas em processos de melhoria contínua, como: *Value Stream Mapping* (VSM), *Just-in-time* e Gestão visual com ênfase em *Kanban*. E ainda, as métricas de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

2.2.1.1. Mapeamento do fluxo de valor (Value Stream Mapping - VSM)

Em um ambiente competitivo como o das indústrias, o desenvolvimento de tecnologias para melhorar sua eficiência acompanham a produção de informações significativas para a tomada de decisão por parte da sua gestão. Neste âmbito, o uso de ferramentas avançadas para produção de dados, proporciona a possibilidade de mapear todo esforço, monetário ou não.

Um dos mecanismos mais comumente aplicados, devido à simplicidade de aplicação e capacidade de produzir uma visão compacta do sistema geral é o *value stream mapping* (VSM) ou mapeamento do fluxo de valor (Dotoli et al., 2014). O VSM capacita a organização a visualizar de forma integrada e melhor compreender o fluxo de informações e materiais de todas as atividades – com ou sem valor agregado – necessárias para obtenção de valor (Rother & Shook, 1999). Pode ser definido como a sequência de todas as atividades necessárias para conceber, produzir e providenciar um determinado produto ou serviço, através de fluxos de informação, processos e materiais (Womack & Jones, 1996).

Desenvolvido por (Rother & Shook, 1999), com o intuito de visualizar o percurso de um produto ou

serviço ao longo de toda a cadeia de valor, é capaz de identificar desperdícios (Abdulmalek & Rajgopal, 2007; Seth & Gupta, 2005). Essa ferramenta possui grande utilidade na base de um planejamento, a fim de reconhecer visualmente as ineficiências ou incapacidades, identificar as suas causas e poder mitigá-las (Lacerda et al., 2016).

Geralmente a esquematização do VSM necessita ser realizada por uma equipa multidisciplinar, com colaboradores de diferentes setores ou departamentos, a cobrir todos os procedimentos da organização com propriedade (Womack & Jones, 1996). Desta maneira, a aplicação do mapeamento de fluxo de valor integra as áreas e fornece uma orientação organizacional para sistematizar iniciativas de melhoria contínua (Pinto, 2020).

2.2.1.2. Just-in-time (JIT)

A Gestão *Lean* é uma cultura na qual a organização remove desperdícios dos processos de negócio a fim de atingir um sistema altamente eficiente e simplificado; evitar desperdícios também é intenção no sistema de administração da produção que surgiu por volta da década de 1970 no Japão, desenvolvido por Taiichi Ohno, da *Toyota Motor Company*.

Eiji Toyoda desenvolveu um pensamento em que rastrear a origem de um problema e corrigi-lo leva a uma melhoria na qualidade dos produtos e processos (Krishna & Nair, 2018). Entender como deve fluir a informação para que um processo faça apenas o que o seguinte necessita (Rother & Shook, 2003), este é um dos princípios da filosofia JIT que tem como objetivo sincronizar a cadeia de valor com as necessidades do cliente, diminuindo os desperdícios e aumentando a eficiência dos processos.

A filosofia JIT é uma transformação sistemática e abrangente dos procedimentos de produção e operação (Lara et al., 2022). A situação ideal é quando não há desperdício nos equipamentos nem no pessoal e todo o esforço resulta em valor acrescentado e qualidade para o produto, de maneira a satisfazer os requisitos subjacentes aos princípios da qualidade total (D. Lu, 1989).

Ohno não é apenas considerado o pai da filosofia *just-in-time*, mas também da ferramenta *kanban* (Kogien, 2017).

2.2.1.3. Gestão Visual e Kanban

A gestão visual é uma das ferramentas do *Lean*, que permite referenciar visualmente informações sobre um determinado processo ou sistema de produção (Afonso, 2020). Nas empresas, o sistema busca

melhorar o desempenho organizacional, utilizando-o para informar, auxiliar no processo decisório e integrar os colaboradores com a empresa. Facilita a comunicação, proporcionam agilidade na resolução de problemas e traz benefícios para a empresa (de Souza et al., 2014).

Conforme Mello (1998), a gestão visual é um sistema de comunicação intuitivo, de fácil entendimento e visualização das informações e/ou dados ali expostos, para orientação da produção através de controles visuais, práticas de qualidade e organização do local de trabalho. Silva e Loos (2017) destacam que deve-se selecionar os indicadores mais adequados, organizá-los de forma clara e apresentá-los aos colaboradores corretos, ou seja, colocar nos locais estratégicos.

Em suma, uma ferramenta visual é um dispositivo projetado intencionalmente para tornar as informações importantes do ambiente de trabalho disponíveis de forma rápida e sem necessidade de verbalização, sendo capaz de influenciar, direcionar, limitar, garantir ou de outra forma afetar o comportamento humano em relação a um processo de execução específica ou resultado (Galsworth, 1997).

Segundo Koskela (1992) os dispositivos visuais são uma das formas mais conhecidas e simples de implantar a transparência em processos e operações nas empresas. Por essa razão, Tezel et al. (2009) realizaram uma revisão para identificar as funções da gestão visual, ilustrada pela Tabela 1:

Tabela 1 - Funções da Gestão visual

Adaptado de: (Tezel et al., 2009)

Função	Definição
Transparência	A habilidade do processo de produção (ou as partes) de comunicar com as pessoas.
Disciplina	Criar um hábito de manter adequadamente os procedimentos corretos.
Melhoria Contínua	Um processo para a organização da inovação incremental focada e sustentada.
Facilitação do Trabalho	Tentativa consciente para aliviar fisicamente e/ou mentalmente os esforços das pessoas em tarefas de rotina.
"On the job Training"	Treinamento em serviço, integração do trabalho com aprendizado.
Criação de Participação Compartilhada	Um sentimento de apropriação e de ser psicologicamente vinculado visão, criação de cultura.
Gerenciamento por Fatos	Usar fatos e dados baseados em estatísticas.
Simplificação	Constantes esforços em monitoramento, processamento, visualização e distribuição de um sistema de informação para indivíduos e equipas.
Unificação	Criar empatia dentro de uma organização através do compartilhamento de informação eficaz.

Podem ser citados como exemplos práticos da gestão à vista a utilização de *dashboards* (painéis de gestão) ou do sistema *Kanban*. Uma vez que o sistema é projetado para lidar com variações na demanda do mercado de forma eficiente e oferecer uma gestão do fluxo, um *kanban* é um mecanismo visual que funciona como meio de autorizar a produzir uma dada quantidade de produtos, no caso de um *kanban* de produção, ou transportar produtos, quando se trata de um *kanban* de transporte.

Para indicar que processo necessita do quê e quando e para permitir que vários processos comuniquem entre si utiliza-se frequentemente o sistema *kanban*, (cartão, anotação, placa) que, adicionalmente, também permite integrar funções de gestão da produção e mais concretamente do controlo da atividade de produção e de gestão de materiais (Lu, 1989).

Com essa finalidade as principais vantagens do mecanismo englobam: a grande interação, com rápida circulação de informação, entre postos de trabalho; agilidade de reação à variação da procura; melhor serviço aos clientes; descentralização do controlo da produção e; a diminuição dos estoques.

Entretanto, hoje uma automação desse sistema se faz necessária, visto que, conforme Huang et al. (2008), os sistemas manuais baseados em papel são demorados, propensos a erros e frequentemente danificados ou perdidos. Essa limitação torna inviável a tomada de decisão precisa, uma vez que é incapaz de representar situações em tempo real.

2.2.1.4. Métricas de Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) é o principal indicador de efetividade global de um equipamento, sendo responsável por otimizar os fatores de produção. Desenvolvido pelo *Japan Institute of Plant Maintenance*, este indicador foi designado a identificar perdas que afetam a efetividade de um equipamento (Muchiri & Pintelon, 2008).

OEE é calculado através do produto da disponibilidade do equipamento, da eficiência de desempenho do processo e do índice de qualidade do produto (Dal et al., 2000). A métrica pode ser utilizada como um indicador de confiabilidade do sistema de produção, ao indicar ainda quais são os principais gargalos que estão a impedir o sucesso (Ahuja & Khamba, 2008), com a capacidade de reportar todas as causas de paradas, perdas no desempenho da produção e perdas devido à qualidade nos produtos.

Ao medir regularmente o OEE, as empresas podem identificar áreas que precisam de melhorias e tomar medidas para aumentar a eficiência e reduzir os custos. Além disso, o OEE pode ser usado como uma ferramenta de benchmarking para comparar o desempenho de uma empresa com o de outras empresas

do mesmo setor. Isso ajuda as empresas a identificar as melhores práticas e a implementar medidas para melhorar a eficiência e a produtividade.

2.2.2. Abordagem de Gestão Ágil

Assim como os princípios *Lean* são citados com diferentes nomes, os conceitos de Ágil também aparecem com diversas denominações. É importante notar que os princípios *Lean* e *Agile* são voltados para a mesma área de aplicação ou, pelo menos, uma série de domínios de aplicação em comum (Putnik & Putnik, 2012), como a busca por prazos de entrega mais curtos e grande importância à qualidade do produto (Flumerfelt et al., 2012).

Os princípios de produção enxuta implementados pela Honda e Toyota e as estratégias de gestão do conhecimento de estudiosos como Takeuchi, Noaka e Senge tiveram um impacto profundo no desenvolvimento da gestão ágil (Carvalho & Mello, 2012). Flumerfelt et al. (2012) destacam que os princípios dos sistemas de *agile manufacture* e de *lean manufacture* podem ser aplicados em conjunto nas organizações. Essa união já possui uma denominação, trata-se do *Leagile*, uma abordagem de gestão híbrida que ganha cada vez mais notoriedade (Agarwal et al., 2006; Rahimi & Alemtabriz, 2022).

Predominantemente utilizada na indústria de *software* desde meados da década de 90, a metodologia ágil está cada vez mais voltada para o desenvolvimento de produtos físicos (Žužek et al., 2020). Ao oferecer uma abordagem mais adaptativa e flexível ao cenário, a gestão ágil permite que os sistemas sejam capazes de responder rapidamente as mudanças, a considerar os requisitos do cliente sujeitos a constantes alterações, ainda que no decorrer do desenvolvimento do produto (Carvalho & Mello, 2012; Flumerfelt et al., 2012).

A gestão tradicional de projetos inclui, normalmente, três fases principais: planejamento, execução e finalização, onde cada fase produz produtos e resultados específicos (Noureddine et al., 2009) e tem como objetivo entregar o produto final. Já a abordagem de gestão ágil divide o projeto em menores ciclos e, ao realizarem a entrega de cada um deles, o cliente pode acompanhar de maneira mais próxima o desenvolvimento do produto ou serviço.

Essa abordagem de gestão, nasceu baseada no Manifesto Ágil; uma declaração que reúne valores e princípios a fundamentar o desenvolvimento ágil de projetos de qualidade, realizada por dezassete autores, por volta de 2001 (Fowler & Highsmith, 2001). Os criadores do manifesto apresentaram quatro valores a serem seguidos inicialmente no desenvolvimento de *softwares*, porém adaptado para projetos

de qualquer área, com foco em qualidade e satisfação do cliente:

1. Indivíduos e interações antes de processos e ferramentas – a abordagem de gestão ágil busca a humanização do projeto, para isso incentiva a comunicação de qualidade entre todo o sistema de operação;
2. O produto a funcionar vale mais que uma documentação abrangente – documentação ainda é importante, até mesmo para toda equipa acompanhar o projeto, entretanto não é o foco do projeto;
3. Colaboração com cliente acima de negociação de contrato – apesar da importância de um contrato, para entregar um produto de qualidade se faz mais necessário perceber quais são as exigências e expectativas do cliente;
4. Responder a mudanças é mais importante que seguir um plano – dentro da abordagem de gestão ágil não deve haver rigidez quanto a mudanças, a ideia é trazer flexibilidade; é interessante que as prioridades dos *stakeholders* estejam pré-estabelecidas, mas a partir de feedbacks constantes a equipa deve realizar as alterações necessárias, para também reduzir os riscos envolvidos no projeto.

Para além dos quatro valores, o manifesto também desenvolveu doze princípios. Conforme Beck et al. (2001), são eles:

1. A maior prioridade é satisfazer o cliente, através da entrega adiantada e contínua de software de valor.
2. Aceitar mudanças de requisitos, mesmo no fim do desenvolvimento. Processos ágeis se adequam a mudanças para que o cliente possa tirar vantagens competitivas.
3. Frequentemente realizar entregas a funcionar, de algumas semanas a alguns meses, a dar preferência ao período mais curto.
4. Pessoas de negócios e desenvolvedores devem trabalhar juntos e diariamente, durante todo o curso do projeto.
5. Construir projetos ao redor de indivíduos motivados. Dando a eles o ambiente e suporte necessários, e confiar que farão seu trabalho.
6. O método mais eficiente e eficaz de transmitir informações para, e por dentro de um time de desenvolvimento, é através de uma conversa cara a cara.
7. *Software* funcional é a medida primária de progresso.
8. Processos ágeis promovem um ambiente sustentável. Os patrocinadores, desenvolvedores e

usuários, devem ser capazes de manter, indefinidamente, passos constantes.

9. Atenção contínua à excelência técnica e bom design aumenta a agilidade.
10. Simplicidade: a arte de minimizar a quantidade de trabalho que precisa ser realizada.
11. As melhores arquiteturas, requisitos e designs emergem de times auto-organizáveis.
12. Em intervalos regulares, o time reflete sobre como ficar mais efetivo, então, se ajustam e otimizam seu comportamento de acordo com isso.

Existem várias metodologias ágeis, sendo a mais adotada delas a conhecida como *Scrum*. Desenvolvida por Jeff Sutherland e Ken Schwaber, trata-se de um *framework* de estrutura simples que mostra a relação entre as diferentes partes do projeto, bem como seu funcionamento; uma maneira de melhor visualizar como as pessoas estão a trabalhar na realidade e auxiliar na otimização das etapas de desenvolvimento (Schwaber & Sutherland, 2011).

Conforme Sutherland (2014), o *framework* possui um ciclo de inspeção e adaptação conhecido como *sprint* ou *time box*, com duração determinada entre duas e quatro semanas. Para cada *sprint* o time determina a quantidade de trabalho que acredita conseguir realizar, ao selecionar as tarefas de uma lista priorizada denominada como *backlog*.

Usar o *Agile* para implementar projetos requer uma maneira diferente de gerenciar os membros da equipa (Marnewick & Marnewick, 2020). O processo *Scrum* tem três figuras principais: *Scrum Team*, *Scrum Master* e *Product Owner*. Em português: time *scrum*, mestre *scrum* e proprietário do produto. Eles devem ser multifuncionais e organizados, uma vez que cada membro possui permissão para sua totalidade (Takeuchi & Nonaka, 1986). Especificamente, o *Scrum* enfatiza o papel do *Product Owner*, que é responsável pela comunicação direta com o cliente, sendo a ponte que interliga o mesmo e o *Scrum Team*.

Visto que é ele a receber os requisitos das partes interessadas, o proprietário cria uma visão para um produto com base nessas especificações, a decidir quais as tarefas serão introduzidas no *backlog* e o que deve ser incluído no produto final. O *Scrum Master* é um representante cujo a responsabilidade é gerenciar os processos, identificar e eliminar obstáculos que possam influenciar negativamente no desempenho do *Scrum Team*, o qual é composto por todos profissionais necessários capazes de desenvolver o projeto. Para garantir que todas as tarefas sejam priorizadas com precisão, no *scrum* são realizados quatro tipos de cerimônias garantidas e facilitadas pelo *scrum master*: as de planejamento, as reuniões diárias, as revisões e as retrospectivas. Caso um erro seja detetado, o *scrum team* é capaz de

corrigi-lo quase que de maneira imediata.

Assim como a abordagem de gestão ágil não costuma contemplar uma hierarquia dentro de sua metodologia, a abordagem de gestão colaborativa defende vantagens para essa quebra do tradicional.

2.2.3. Abordagem de Gestão Colaborativa

Com o cenário crescente de competitividade no mercado, as relações de trabalho estão cada vez mais intensas e dinâmicas. Para adaptarem-se as transformações e com o objetivo de impulsionar a produtividade no design, produção e entrega de produtos, a Manufatura Colaborativa e os Ambientes de Desenvolvimento Colaborativo ganham importância, à medida que líderes de empresas combinam dados de diferentes sistemas e implantam modelos de gestão colaborativa (Brettel et al., 2014; Nedelcu, 2013; Sahal et al., 2020).

A colaboração é um paradigma importante que implica uma interação entre duas ou mais entidades (Varela et al., 2022). Sendo a gestão colaborativa baseada no compartilhamento de informações (Moori et al., 2007), não apenas dentro de uma organização, mas entre *stakeholders* no geral ou, até mesmo, organizações parceiras (Koontz & Thomas, 2006).

Este conceito de abordagem de gestão na literatura também engloba o termo *open innovation*, ou inovação aberta, que tem como preliminar que ideias valiosas podem ser originadas tanto dentro como fora da empresa (Branquinho, 2016). A inovação aberta fornece acesso e conhecimento a parceiros externos, de maneira a incentivar a inovação, pesquisa e desenvolvimento (Lima et al., 2022).

A abordagem de gestão colaborativa caracteriza-se principalmente pela troca cooperativa de recursos e ideias, para então desenvolver uma estratégia que apontará para qual direção a organização deve seguir (Mills, 1998). Conforme Ha (2016) a fim de ajudar a solucionar questões complexas, como conflitos políticos e disputas entre profissionais, se faz necessário que todas as partes interessadas colaborem entre si. As partes podem ser motivadas por diferentes aspirações, desde que exista um interesse fundamental em aprender, o encontro de interesses é o melhor meio para alcançar os anseios de todos (Shani et al., 2007).

Esta gestão, baseada em diálogo (Putnik & Putnik, 2012), multiplica as capacidades disponíveis sem a necessidade de maiores investimentos. Afinal, dentro de uma rede colaborativa, os riscos podem ser equilibrados e a combinação de conhecimentos pode expandir as oportunidades de mercado perceptíveis

(Brettel et al., 2014). Assim, organizações em redes colaborativas são capazes de se adaptarem aos mercados voláteis com agilidade.

Ao combinar interações com clientes e fornecedores, novas técnicas de *crowdsourcing* e inovações intersectoriais, a colaboração une conhecimentos internos e externos (Lima et al., 2022). Os laços de colaboração entre as universidades e a indústria, por exemplo, também podem assumir a forma de relacionamentos de longo prazo que fazem uso de múltiplos mecanismos de troca de conhecimento (Beck et al., 2022).

Ollila e Yström (2017) destacam que a *open innovation* sugere uma mudança da perspectiva vertical de gestão, que enfatizaria estrutura e ordem, para uma perspectiva horizontal, onde se tem por objetivo enfatizar processos e relações que incluem interações além dos limites da colaboração. De toda maneira, um modelo descentralizado de gestão, sem hierarquia rígida entre os colaboradores, requer que todos os percebam claramente suas responsabilidades para que de forma colaborativa contribuam para atingir os objetivos esperados (Marques et al., 2017).

Ainda que hajam diversos benefícios comprovados, as organizações que utilizam esta abordagem não são encontradas de maneira onipresente (Corvello & Migliarese, 2007). O que é positivo como cada parte ter diferentes experiências, perspectivas e *expertise*, pode fazer com que a colaboração não seja de fácil implantação (Christakis et al., 1999).

Destaca-se que para implementar uma abordagem de gestão colaborativa existe uma necessidade de adaptação cultural dentro da organização. Isso porque a colaboração exige uma mudança na mentalidade dos colaboradores, que devem estar dispostos a compartilhar conhecimento e trabalhar em conjunto em prol de um objetivo. Além disso, é preciso que os líderes da organização estejam engajados em promover uma cultura colaborativa, oferecendo suporte e incentivos para que a colaboração seja valorizada e praticada pelos colaboradores.

Para além da importância de cada estágio produtivo considerar o impacto que suas ações exercem sobre os outros estágios a evitar distorções de informações e o conhecido fenômeno, “efeito chicote” (Fliedner, 2003), identificar parceiros (Guertler & Sick, 2021) e estabelecer relações de confiança entre as partes envolvidas é um obstáculo básico à cooperação/colaboração (Msanjila & Afsarmanesh, 2008).

Outro ponto destacado por Brettel et al. (2014), também relacionado a questão da confiança entre os membros, é que esta abordagem pode levar ao aprendizado assimétrico causado por comportamento

oportunista, também conhecido como corridas de aprendizado.

Por esta razão, para aumentar a confiabilidade e controle das etapas de produção, os sistemas de avaliação colaborativa, assim como na Abordagem de Gestão em Tempo Real, devem ser capazes de obter informações sobre a produção de maneira quase que instantânea (Marques et al., 2017).

2.2.4. Abordagem de Gestão em Tempo Real

O conhecido cenário industrial apresenta desafios de gestão correlacionados a inovação, tecnologia, segurança de dados e informações, produtividade, eficiência e claro, competitividade. Torna-se evidente que é essencial integrar a gestão da produção e o controle das células de produção para obter sistemas de produção avançados e mais 'reativos' às perturbações técnicas e econômicas (Gendreau et al., 1993).

A abordagem de Gestão em Tempo Real diz respeito ao uso de soluções e sistemas de gestão empresarial que possibilitam observar a situação atual do negócio, por meio da coleta e análise de dados extraídos recentemente (Rassolov, 2013). A gestão em tempo real é suportada por modelos como os de tomada de decisão, gerenciamento de processos e gestão de riscos.

O modelo de tomada de decisão em tempo real permite que as empresas tomem decisões rápidas e eficientes com base em informações atualizadas (Hua et al., 2019; Power, 2002). O modelo de gerenciamento de processos em tempo real se concentra na melhoria contínua dos processos por meio da coleta e análise de dados em tempo real, a permitir que as empresas identifiquem e corrijam problemas nos processos imediatamente, reduzindo custos e aumentando a eficiência (Schonberger, 2002). Da mesma forma, o modelo de gestão de riscos em tempo real se concentra na identificação e gerenciamento de riscos em tempo real e permite que as empresas tomem medidas preventivas imediatas para mitigar os riscos, reduzindo potenciais prejuízos (Shang & Seddon, 2002).

O recurso de gerenciamento de produção em tempo real está diretamente relacionado à qualidade da produção, devido a sua grande importância para o controle do desvio não estocástico da produção. A considerar também que a eficiência de toda a cadeia de suprimentos pode ser influenciada por alterações do cronograma (Matičević et al., 2010). A extração de informações – como dados temporais, consumo real das máquinas e equipas, gargalos na produção, perdas de velocidade ou qualidade – permitem a identificação do problema, para a, então, solução. Essa garantia exata de informações sobre a linha de produção auxilia na redução dos tempos de produção e melhora a confiabilidade do produto.

A disponibilidade de dados de produção em tempo real é um facilitador para a otimização inteligente e futuros diagnósticos (Poullisse et al., 2006). Com a maior visibilidade das atividades é possível antecipar ações e evitar problemas e, conseqüentes perdas, a aumentar a eficiência energética do gerenciamento da produção em tempo real (Wang et al., 2018).

Ainda de acordo com Wang et al. (2018), graças aos rápidos desenvolvimentos das tecnologias na Internet das Coisas, o *status* em tempo real dos recursos e os dados de consumo de energia dos processos de fabricação podem ser coletados de maneira mais simples. Esta facilidade reduz as lacunas entre os sistemas real e virtual e atualiza as situações mais recentes em ambientes de nuvem (Lee, 2019).

Tecnologias como o RFID (Liu et al., 2012) - que utiliza ondas de radiofrequência para transferir dados entre um leitor e um item móvel para fins de identificação, rastreamento e categorização dos dados da produção (Barenji et al., 2014) - estão, portanto, bastante ligadas a essa abordagem. A introdução de diferentes fontes de recolha de informações implica no crescimento acelerado de dados em tempo real; sendo a questão um desafio para o *big data* (Sahal et al., 2020; Tiwari et al., 2018).

No campo da automação industrial, a tendência da gestão em tempo real levou a um interesse renovado em Sistemas Multiagentes (SMA), uma vez que combinam várias técnicas que podem resolver problemas complexos e abertos de maneira otimizada. Os sistemas multiagentes podem lidar com a complexidade do mundo real empregando métodos de controle suave, onde os agentes cooperam e negociam uns com os outros (Karnouskos et al., 2020).

Uma situação comum ilusória é a diminuição da taxa do OEE, isso se dá, pois, inicialmente os dados de medição não estavam completos e, por tanto, algumas perdas que antes não eram computadas passam a compor o contexto do OEE (Putnik et al., 2015). Entretanto, a abordagem de gestão em tempo real não é uma solução intrusiva, a partir dela é possível identificar onde estão os gargalos na produção. Ao agir e tratar os pontos identificados o OEE volta a aumentar.

O gerenciamento em tempo real do sistema exige a aquisição e processamento precisos de dados e informações, a fim de melhor apoiar a gestão da produção e a tomada de decisões de manutenção (Vieira et al., 2018). Exige também que as informações de segurança sejam mantidas de forma meticulosa, com monitoramento ativo do estado do sistema em mudança (Chukwu et al., 2013).

3. METODOLOGIA

O método de pesquisa selecionado para a investigação foi a pesquisa bibliográfica, uma abordagem qualitativa na qual o instrumento de coleta de dados é a revisão da literatura de maneira sistemática. Devido ao seu formato, o método é capaz de preencher a lacuna dentro de metodologias projetadas para analisar problemas na área de pesquisa ou literatura específica (Adams et al., 2016; Odważny et al., 2018).

O desenvolvimento do trabalho foi efetuado baseado na proposta de Tranfield, Denyer e Smart, em seu artigo publicado em 2003 no periódico British Journal of Management. A publicação, com mais de 5.800 citações de acordo com a base de dados Scopus e de 11.400 citações de acordo com o Google Acadêmico, propõe um método para revisões sistemáticas dividido em três estágios, conforme descrito abaixo, na Figura 4:

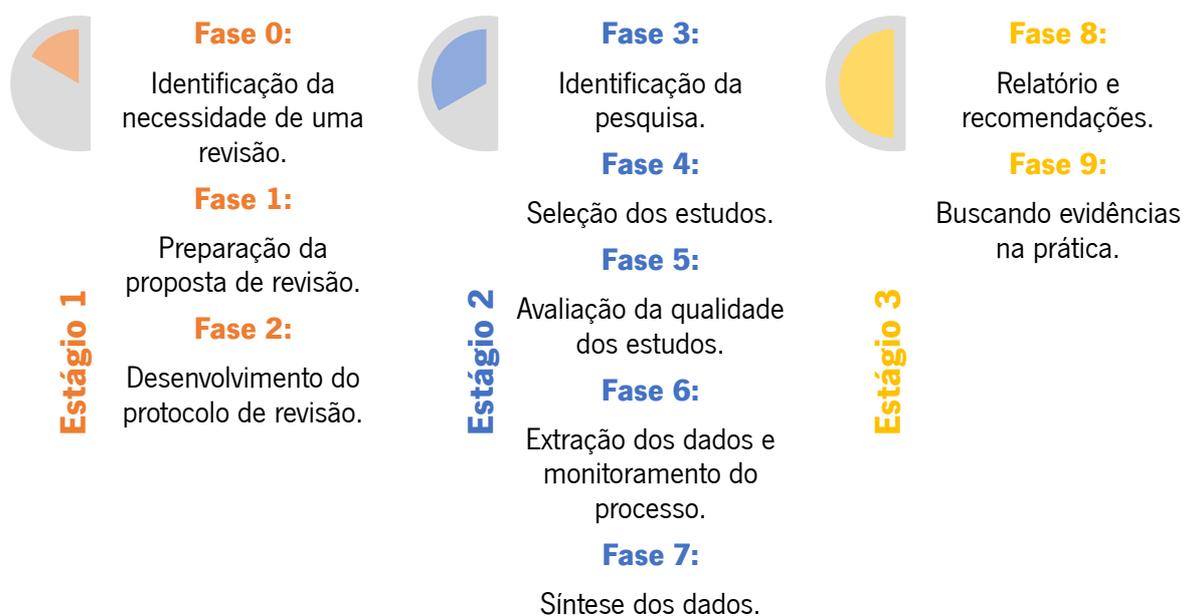


Figura 4 – Os estágios da revisão sistemática

O primeiro estágio, composto por três fases, diz respeito ao planejamento da revisão. O estágio 2 é onde ocorre a condução da revisão sistemática propriamente e contempla cinco fases. O terceiro e último estágio é sobre o reporte e disseminação das informações coletadas, este possui duas fases. (Tranfield et al., 2003)

3.1. FASE 0: IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE UMA REVISÃO

A primeira fase da revisão é também a justificativa deste trabalho. Conforme exemplificado no capítulo introdutório, existe um crescente interesse em buscas a respeito da Indústria 4.0, entretanto o estudo e exploração das abordagens ligadas ao tema ainda apresentam potencial mais-valia na gestão industrial.

3.2. FASE 1: PREPARAÇÃO DA PROPOSTA DE REVISÃO

Com base na identificação da necessidade de uma revisão, o propósito desta pesquisa é realizar um levantamento e estudo de diferentes tipos de abordagens, métodos e tecnologias associadas à Gestão Integrada da Produção e da Qualidade que se enquadram nas exigências da I4.0. Bem como, contribuir para o atingimento dos objetivos específicos deste estudo.

3.3. FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO PROTOCOLO DE REVISÃO

A considerar a proposta estabelecida, foi definido a utilização da base eletrônica b-on, devido a sua grande abrangência ao reunir dados dos fornecedores de conteúdo mais respeitados do meio acadêmico.

A busca na base de dados internacionais b-on foi realizada em 23 de janeiro de 2022. Foram selecionadas palavras-chaves dos cinco grandes blocos do presente estudo, a Indústria 4.0, a Gestão *Lean*, Gestão Ágil, Gestão Colaborativa e Gestão em Tempo real, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - As palavras-chaves dos blocos de estudo

Indústria 4.0	Lean	Ágil	Colaborativa	Tempo real
<i>Industry 4.0;</i>	<i>Lean</i>	<i>Agile</i>	<i>Collaborative</i>	<i>Real-time</i>
<i>Fourth Industrial</i>	<i>Manufacturing;</i>	<i>Manufacturing;</i>	<i>Manufacturing.;</i>	<i>Management;</i>
<i>Revolution.</i>	<i>Lean Thinking.</i>	<i>Agile</i>	<i>Collaborative</i>	<i>Real-time</i>
		<i>Management.</i>	<i>Management.</i>	<i>Systems.</i>

De maneira que o bloco referente a Indústria 4.0 esteja obrigatoriamente incluído e pelo menos um dos quatro demais blocos também, foi desenvolvida a *string* de pesquisa avançada para busca em títulos e assuntos: (*"industry 4.0" OR "fourth industrial revolution"*) AND (*"lean manufacturing" OR "lean thinking"*) OR (*"agile manufacturing" OR "agile management"*) OR (*"collaborative manufacturing" OR "collaborative management"*) OR (*"real-time management" OR "real-time systems"*)).

Outras opções - como a maneira em francês *industrie 4.0*, a conhecida sigla *I4.0*, os termos *lean production* e *leagile*, outras nomenclaturas que fazem referência a gestão colaborativa, o termo *real-time* com ausência do hífen - foram testadas e descartadas devido a nula ou baixa quantidade de novos resultados, conforme apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - As palavras-chaves dos blocos de estudo descartadas

Indústria 4.0	Lean	Ágil	Colaborativa	Tempo real
<i>Industrie 4.0;</i> <i>I4.0.</i>	<i>Lean</i> <i>Production;</i> <i>Automation lean.</i>	<i>Agile thinking;</i> <i>Leagile.</i>	<i>Flat structure;</i> <i>Horizontal</i> <i>structure;</i> <i>Horizontal</i> <i>management.</i>	<i>Real time</i> <i>Management;</i> <i>Real time</i> <i>Systems.</i>

3.4. FASE 3: IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA

Inicialmente a pesquisa booleana apresentou, apenas com a restrição ano de publicação até 2021, 867 resultados. A partilha dos dados para um ficheiro de citações em formato XML foi realizada da plataforma b-on, através do envio por e-mail de uma hiperligação para transferência de resultados exportados. O b-on contabilizou 746 resultados a serem enviados, a descontar trabalhos duplicados.

Ao abrir o arquivo XML no Excel, a planilha apresentada teve de ser tratada para melhor visualização dos resultados. Com divergências de pontuações nos títulos, foram identificados pelo DOI de cada documento mais 119 trabalhos duplicados. Estes foram deletados, a restar 627 documentos.

246 artigos de revistas académicas, 306 materiais de conferência, 44 livros e e-books, além de 31 resultados de outras fontes como teses/dissertações, relatórios, resenhas, publicações da especialidade e materiais de revistas não académicas (Figura 5). Materiais de conferência também registados como artigos foram apenas considerados em revistas académicas.

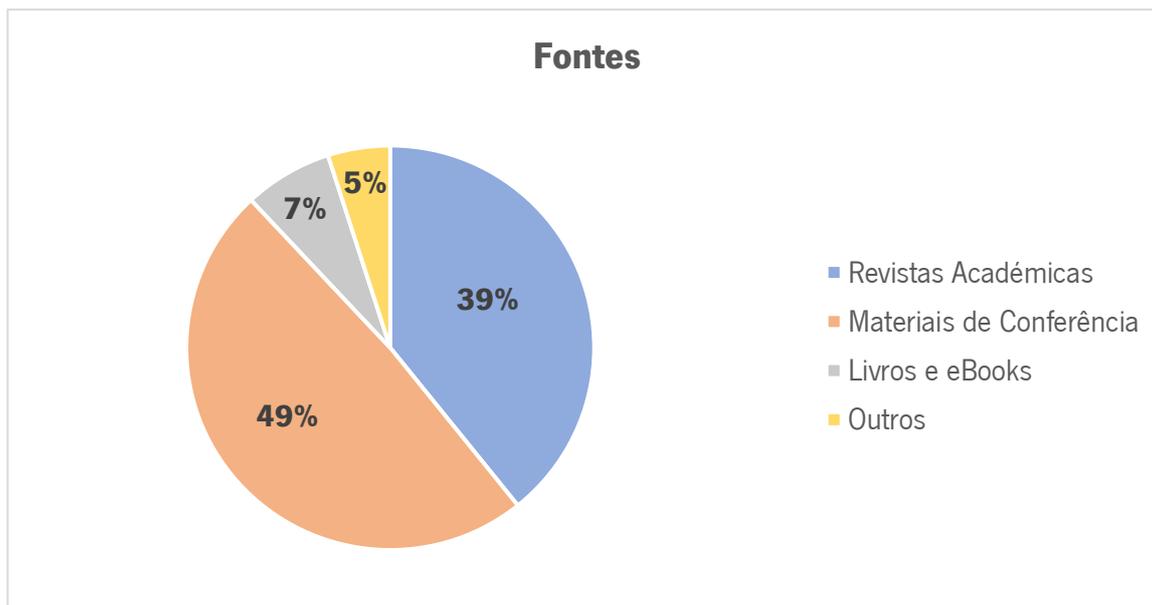


Figura 5 – Quantitativo por fontes

Identifica-se o quantitativo de artigos por editores na Figura 6. Ao filtrar apenas os artigos de revistas acadêmicas, o IEEE destaca-se como principal editor, seguido por Elsevier, MDPI, Taylor & Francis, Emerald, Springer e Wiley. Estes são responsáveis por 190 artigos, ou seja, quase 80% das publicações.

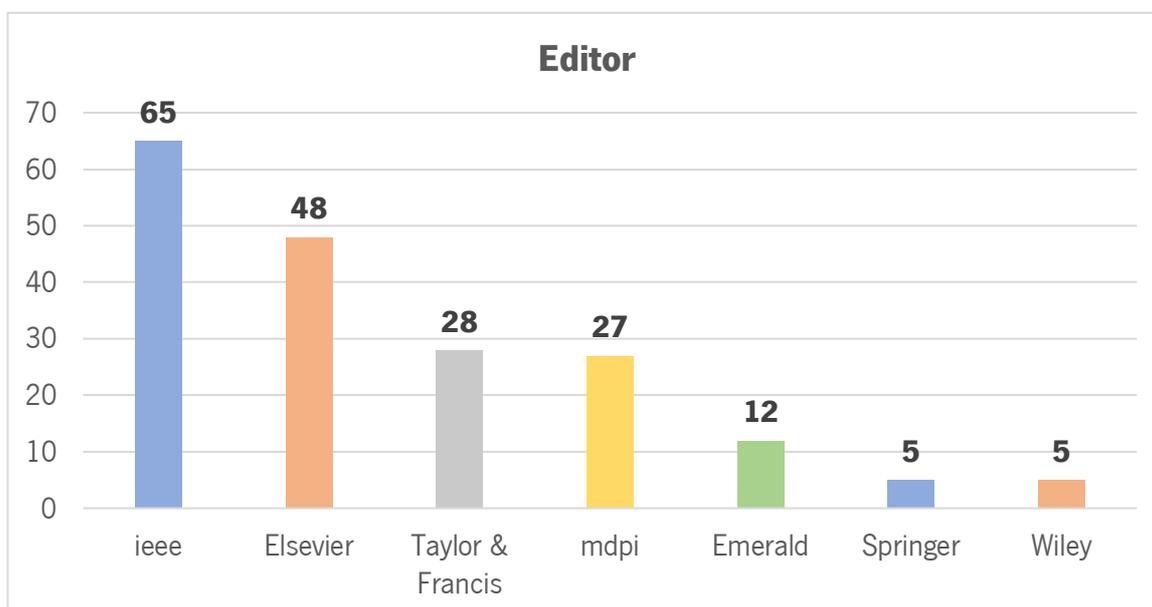


Figura 6 – Quantitativo por editores

Como é visível na Figura 7, o interesse dos pesquisadores pelos diversos tipos de abordagem de gestão associados a Indústria 4.0 vem aumentando constantemente, de forma a reforçar a relevância do tema. O número de artigos dos dois últimos anos atinge a marca de mais de 60% das publicações totais.

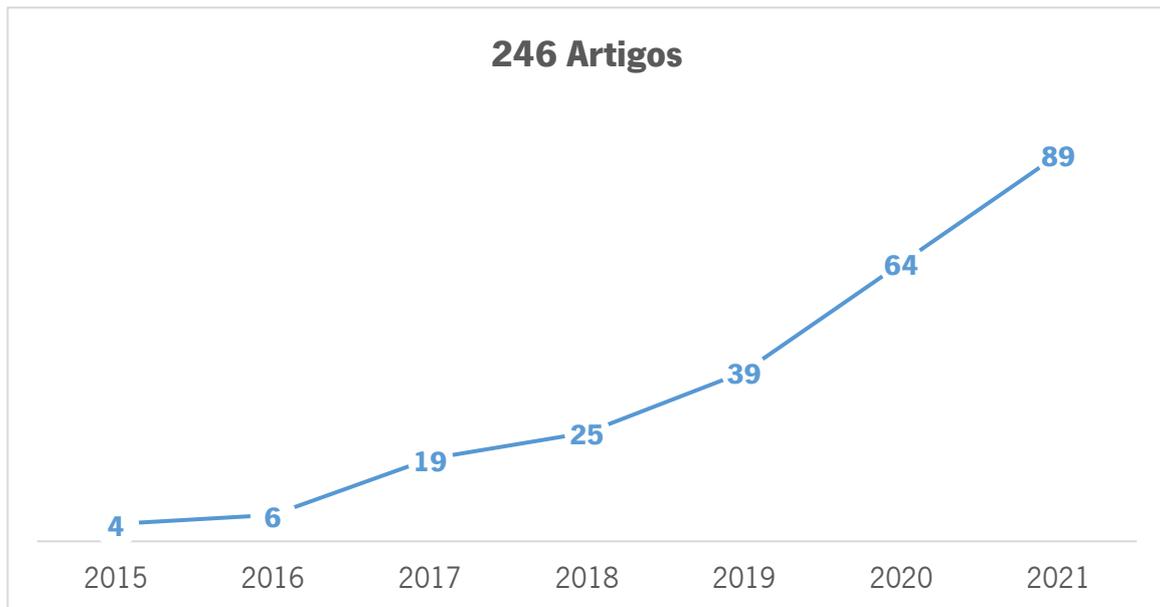


Figura 7 – Quantitativo por ano

Após a leitura do registo detalhado dos 246 documentos foi possível identificar, conforme representado na Figura 8: 136 artigos em revistas académicas que fazem principal menção ao bloco *Lean*; 22 a abordagem de gestão ágil; 14 a gestão colaborativa; 74 ao tempo real.

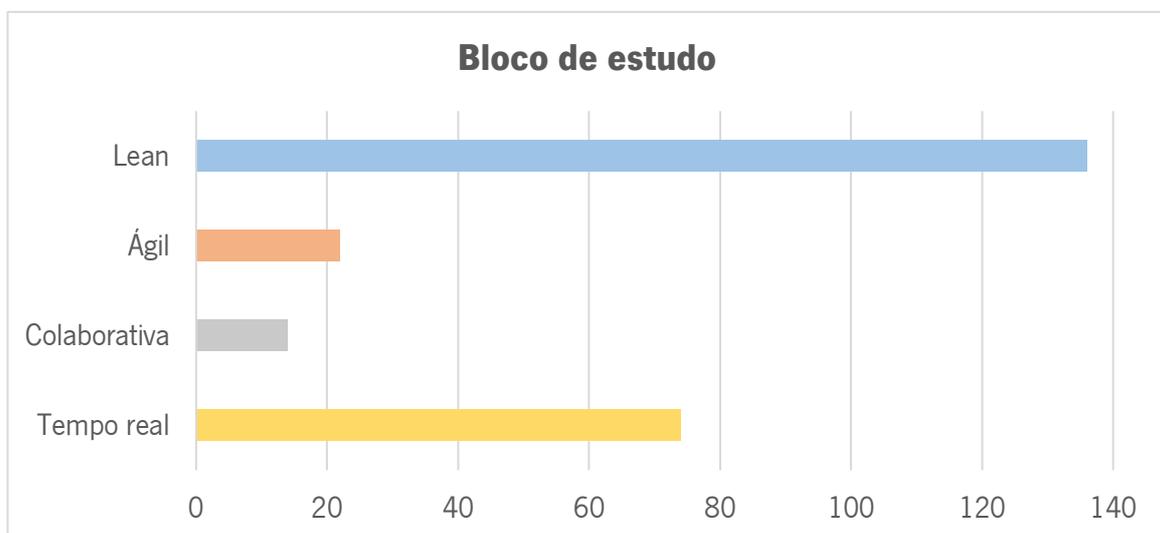


Figura 8 – Quantitativos por bloco de estudo

Dos 246 documentos avaliados, 39 fazem menção a mais de uma abordagem. Com a finalidade de tornar visual a interação entre as abordagens de gestão da produção e da qualidade, foi elaborado o Diagrama de Venn, a partir da classificação de blocos e sub-blocos. Ilustrado pela Figura 9, o diagrama apresenta a relação entre as quatro categorias. Todos os blocos possuem pelo menos um artigo em integração com outro bloco.

A tomar como exemplo de leitura, a abordagem de gestão ágil apresentou exclusivamente 13 artigos sobre o tema; em 8 estava como bloco principal ou sub-bloco integrado com a abordagem de gestão *Lean*; em 1 com a abordagem de gestão colaborativa e; em 7 com a abordagem de gestão em tempo real.

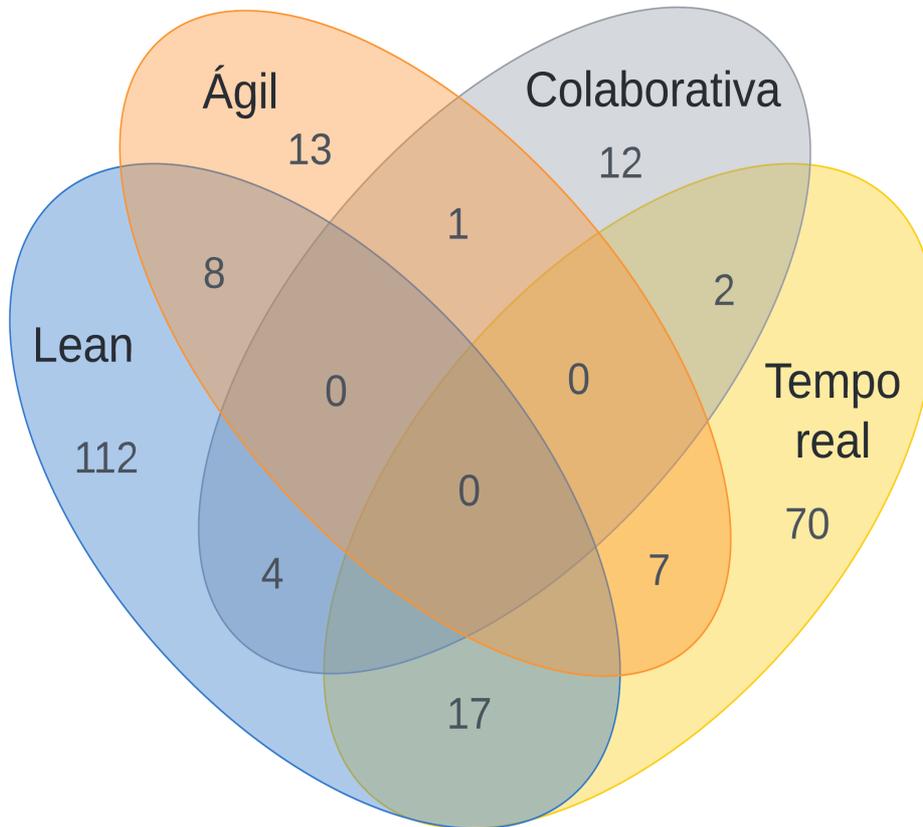


Figura 9 – Integração dos blocos (Diagrama de Venn)

3.5. FASE 4: SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Para seleção dos dados foram desconsiderados artigos escritos em outras línguas que não inglês ou português, devido a preferência da autora. Artigos cujo o texto integral contavam como indisponíveis na plataforma b-on também foram desconsiderados. Por fim, artigos que não foram revisados pelos pares foram também excluídos, como um meio de maximizar a qualidade dos trabalhos selecionados.

Como é possível visualizar na Tabela 4, a partir dos 246, restaram 172 documentos. O bloco referente a abordagem de gestão *lean* permanece com a maioria dos trabalhos seguido pelo bloco de tempo real.

Tabela 4 - Status de artigos disponíveis e revisados

Estado	Lean	Ágil	Colaborativa	Tempo real	Total
Inicial	136	22	14	74	246
Disponível	96	15	12	52	175
Revisado	119	20	14	65	218
Disponível e Revisado	94	15	12	51	172

Os documentos redigidos nas demais línguas não estavam disponíveis e/ou não haviam sido revisados pelos pares, não influenciando então em novas eliminações.

Ao avaliar a Tabela 5 é nota-se que os editores reconhecidos no meio acadêmico ainda representam quase 80% dos artigos. Entretanto, destaca-se que cerca de vinte artigos do editor Elsevier não foram revisados por pares e o editor Emerald não possui nenhum artigo disponível na plataforma b-on e, por isso, não está contemplado na tabela.

Tabela 5 - Quantitativo por editor e bloco

Editor	Lean	Ágil	Colaborativa	Tempo real	Total
IEEE	2	1	2	41	46
Taylor & Francis	17	5	4	2	28
MDPI	23	1	2	1	27
Elsevier	18	3	2	3	26
Springer	1	1	2	1	5
Wiley	5	-	-	-	5
Outros	28	4	-	3	35
Total	94	15	12	51	172

Prosseguindo com o estudo, foi iniciada a leitura dos resumos dos 172 artigos na própria plataforma b-on. Nesta fase, uma análise de pertinência, com a finalidade de avaliar se os artigos encontrados tratam do tema em questão, é realizada qualitativamente, de maneira que foi eliminada parte considerável dos artigos devido ao baixo alinhamento com o objetivo deste trabalho, a ficar com 45 artigos incluídos.

Projetado para ajudar autores a relatar de maneira mais transparente o porquê e como revisões

sistemáticas e meta-análises foram realizadas, o diagrama de fluxo PRISMA (Galvao et al., 2015; Moher et al., 2009; Page et al., 2021), representado na Figura 10, foi elaborado a resumir as fases de identificação e seleção dos estudos.

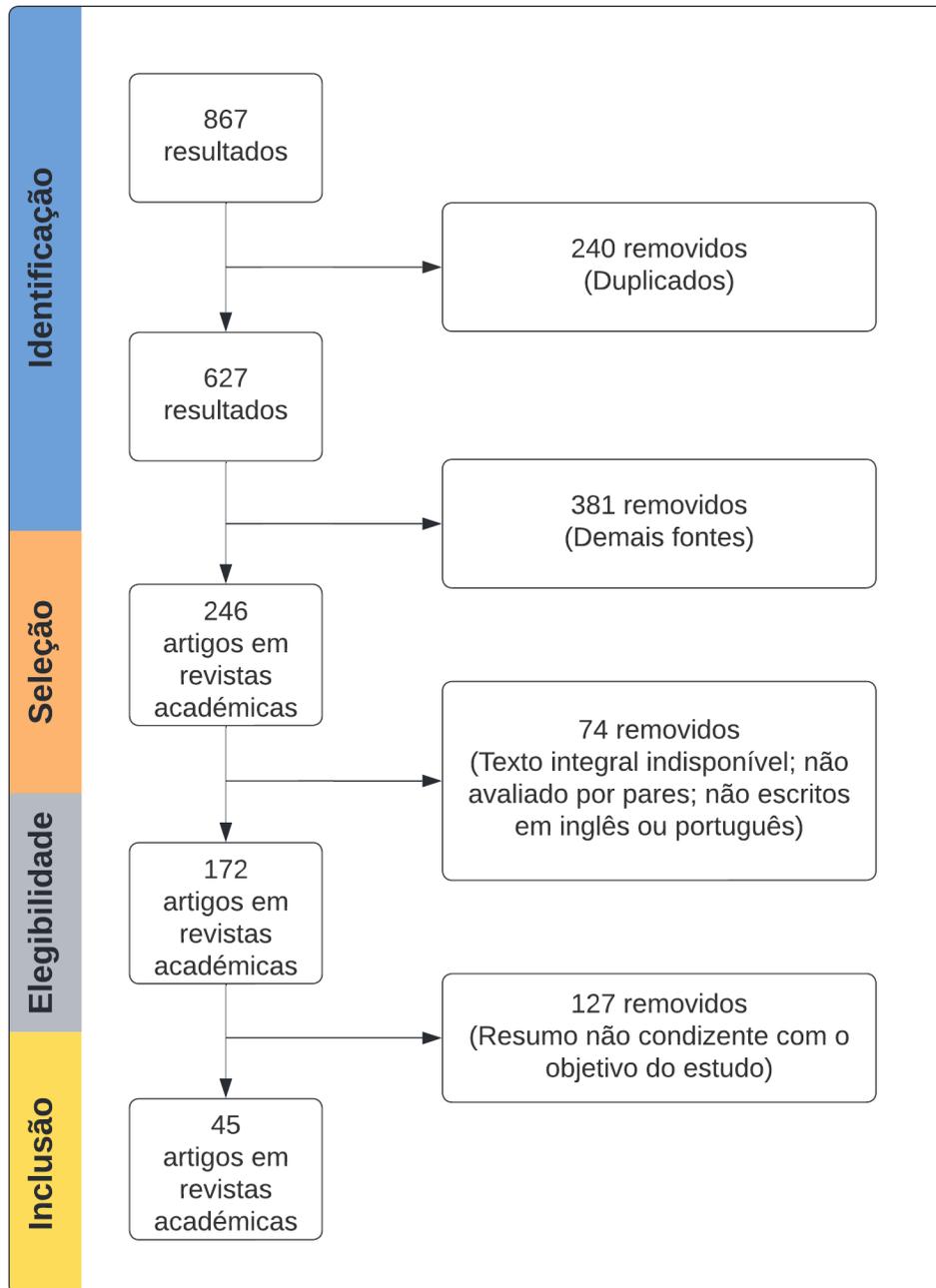


Figura 10 – Diagrama Prisma da revisão sistemática.

O diagrama é composto por quatro etapas: identificação, onde são identificados os estudos relevantes que serão avaliados; seleção, onde é feita a triagem inicial dos estudos com as filtragens inicialmente definidas; elegibilidade, na qual os estudos selecionados na etapa anterior são avaliados por meio da análise dos resumos, e; inclusão, onde os estudos que atendem aos critérios são incluídos na revisão sistemática são analisados na íntegra.

3.6. FASE 5: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESTUDOS

Todos os 45 artigos selecionados após a leitura dos resumos seguiram um rigor científico aceitável, possivelmente por já terem sido filtrados como avaliados por pares.

3.7. FASE 6: EXTRAÇÃO DOS DADOS E MONITORAMENTO DO PROCESSO

Posterior o *download* (em ficheiros PDF) dos quarenta e cinco artigos selecionados, estes foram importados para a aplicação Mendley para o estudo completo, setorização dos arquivos em pastas e adiantamento das referências bibliográficas.

O arquivo XML no Excel, continuou a ser usado durante todo o processo de estudo como uma forma de controlo e organização dos artigos. A planilha já contava com dados como: número de referência da extração da plataforma b-on; editor; autores; ano de publicação; identificador digital do objeto (DOI); título do documento; entre outros. Para além, foram adicionadas novas informações referentes a cada artigo na medida que a leitura ia se desenvolvendo como: bloco e sub-blocos de estudo; disponibilidade do texto integral; conteúdo revisado pelos pares; contexto do artigo; número de páginas; método de pesquisa; compatibilidade com o tema; principal contribuição para este estudo; vantagens e barreiras da abordagem e; comentários adicionais.

3.8. FASE 7: SÍNTESE DOS DADOS

A Figura 11 representa a quantidade de artigos dos diversos tipos de abordagem de gestão associados a Indústria 4.0 incluídos neste estudo. Assim como nas publicações totais o número de artigos dos dois últimos anos representa a marca de 60% das publicações totais, sendo 27 dos 45 artigos selecionados.

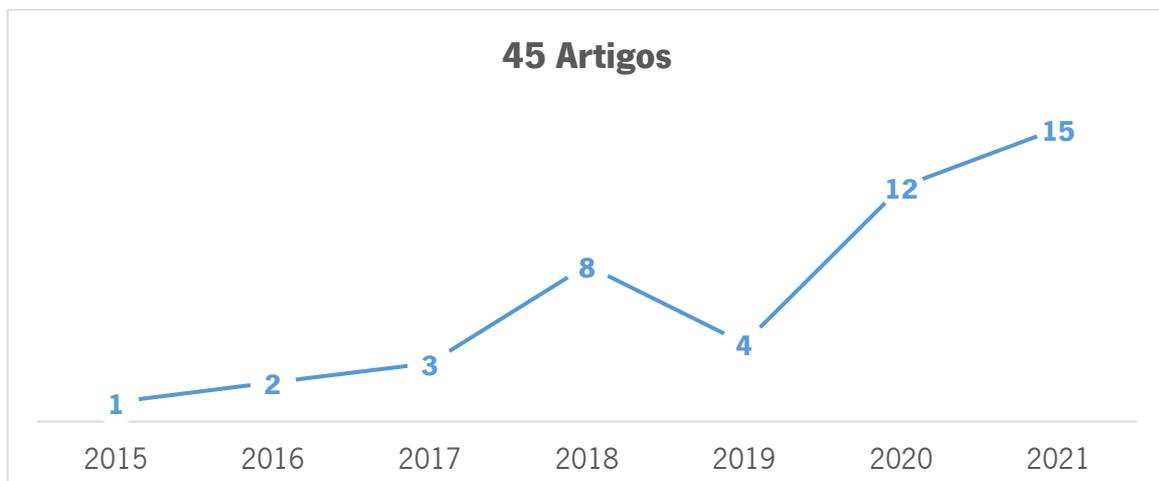


Figura 11 – Quantidade de artigos incluídos por ano

De acordo com a Figura 12, dos 45 artigos incluídos com valor agregado a este estudo, 24 apresentam como principal bloco de estudo a abordagem de gestão de produção e qualidade *Lean*; 7 da abordagem de gestão ágil; 7 da abordagem de gestão colaborativa e; também 7 da abordagem de gestão em tempo real.

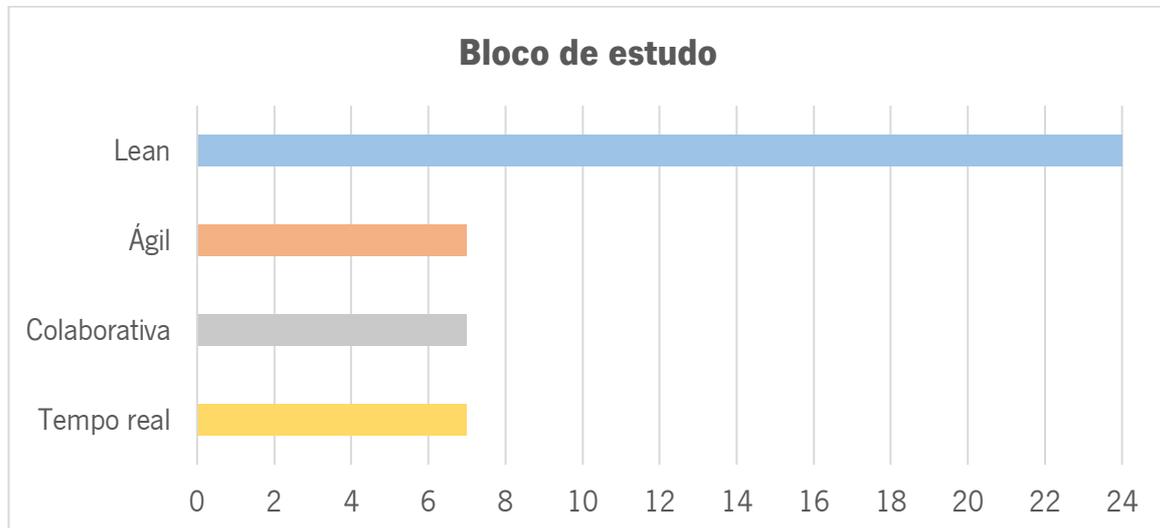


Figura 12 – Quantidade de artigos incluídos por bloco principal de estudo

Para melhor classificar os métodos de pesquisa dos estudos incluídos, os procedimentos metodológicos foram considerados como:

- Pesquisa bibliográfica - qualitativo - estudos que realizaram revisões da literatura, sendo sistemáticas ou não;
- Estudos de caso - qualitativo - estudos que analisaram de maneira exaustiva um ou mais objetos, a fim de obter conhecimento, entrevistas também estão contidas;
- Pesquisa ação - qualitativo - estudos que não apenas observaram e estudaram, mas também participaram diretamente no meio;
- Experimental - quantitativo - estudos que indicaram experimentos a realizar, como sugestões de novos *frameworks*;
- Levantamento - quantitativo - estudos que foram embasados por questionários de pesquisa, *survey*;
- Misto – estudos que apresentaram mais de um dos métodos de pesquisa acima referenciados.

Ao analisar a Figura 13, é possível perceber que a maioria dos estudos incluídos possui uma abordagem de pesquisa qualitativa, com 36% de pesquisas bibliográficas e 11% de estudos de caso, a totalizar 47% dos artigos selecionados. Porém, as pesquisas quantitativas não ficaram tão desfalcadas, a representar 40% dos estudos com 24% experimental e 16% de levantamento.

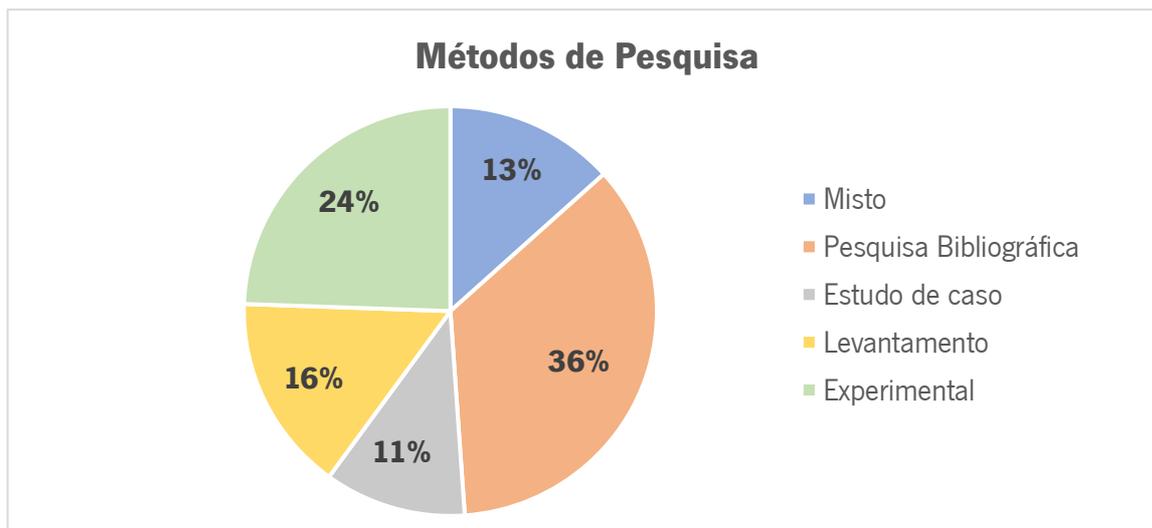


Figura 13 - Percentual de métodos de pesquisa dos artigos incluídos

3.9. FASE 8: RELATÓRIO E RECOMENDAÇÕES

Esta fase é apresentada no próximo capítulo, que analisa a literatura selecionada em pormenor e agrupa os resultados encontrados não apenas para cada tipo de abordagem, mas também realiza a ligação com as exigências atuais impostas pela I4.0.

3.10. FASE 9: BUSCANDO EVIDÊNCIAS NA PRÁTICA

Esta fase encontra-se distribuída ao longo do quinto capítulo do trabalho, o capítulo de considerações finais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados da revisão sistemática da literatura, que envolve a Indústria 4.0 e as quatro abordagens de gestão da produção e da qualidade previamente selecionadas: *lean*, ágil, colaborativa e em tempo real.

Com a finalidade de melhor abordar os objetivos da pesquisa e questão de investigação, o capítulo encontra-se dividido em resultados gerais, vantagens e barreiras das abordagens de gestão, relação das abordagens com exigências da indústria 4.0, integração das abordagens com a I4.0 e gaps identificados na literatura.

4.1. RESULTADOS GERAIS

O primeiro tópico do capítulo tem o objetivo de apresentar os artigos incluídos na revisão sistemática.

A Tabela 6 para além de identificar os autores e títulos dos artigos, reúne a classificação dos blocos e sub-blocos referentes as abordagens de gestão. O método de pesquisa utilizado em cada um dos 45 estudos incluídos e as principais contribuições com valor agregado para essa presente dissertação também contemplam a tabela.

Os achados, de maneira geral, são fundamentações teóricas a respeito da Indústria 4.0 ou de alguma abordagem de gestão, identificações de benefícios e barreiras de cada tipo de gestão, referências sobre as exigências da I4.0 e correlações entre as abordagens de gestão e a indústria 4.0.

Na revisão sistemática fica claro que todos os artigos acabam por discutir melhorias de desempenho; seja através de revisões da literatura, estudos de caso, levantamento ou métodos experimentais

Tabela 6 - Apresentação dos artigos incluídos

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
1	(Tortorella et al., 2019)	<i>Lean</i>	<i>A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies</i>	Análise de efeitos, no contexto socioeconômico, da integração de tecnologias I4.0 com as práticas de produção enxuta	Levantamento
2	(Tripathi, Chattopadhyaya, Mukhopadhyay, et al., 2021)	<i>Lean Ágil</i>	<i>An Innovative Agile Model of Smart Lean–Green Approach for Sustainability Enhancement in Industry 4.0</i>	Contribuição para os conceitos da integração da abordagem <i>Lean</i> com uma abordagem verde, que visa aumentar a produtividade com o mínimo de impactos ambientais	Misto (Pesquisa Bibliográfica + Estudo de caso)
3	(Agostinho & Baldo, 2021)	<i>Lean</i>	<i>Assessment of the impact of Industry 4.0 on the skills of Lean professionals</i>	Análise das interações entre LM e I4.0 e avaliação dos impactos que as tecnologias I4.0 trazem para as competências exigidas dos profissionais de LM	Estudo de caso
4	(Tortorella, Saurin, et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>Bundles of Lean Automation practices and principles and their impact on operational performance</i>	Contribuições sobre o desempenho operacional de empresas que passaram ou estão a passar pela implementação integrada do <i>Lean</i> com a I4.0	Levantamento
5	(Tortorella et al., 2020)	<i>Lean</i>	<i>Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines</i>	Contribuição sobre diretrizes integradas de tecnologia para projetar fluxos de valor enxutos na era da Indústria 4.0, o que pode auxiliar na análise de como a tecnologia pode ser integrada às abordagens de gestão da produção para melhorar a eficiência e a qualidade dos processos.	Levantamento

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
6	(Varela et al., 2019)	<i>Lean</i>	<i>Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability</i>	Contribuição a respeito da influência do <i>Lean</i> e da indústria 4.0 na Sustentabilidade	Levantamento
7	(Villalba-Diez et al., 2020)	<i>Lean</i> Tempo Real	<i>Geometric Deep Lean Learning: Deep Learning in Industry 4.0 Cyber-Physical Complex Networks.</i>	Noções sobre os sistemas de gestão enxuta em um contexto ciberfísico da Indústria 4.0	Experimental
8	(Ghaithan et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia</i>	Contribuições sobre o impacto integrado das tecnologias da Indústria 4.0 e da abordagem de gestão <i>Lean</i> no desempenho de sustentabilidade	Misto (Levantamento + Experimental)
9	(Rosin et al., 2020)	<i>Lean</i> Tempo Real	<i>Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles</i>	Contribuição para com as ligações entre os princípios e ferramentas propostos pela Indústria 4.0 e aqueles propostos pela abordagem de gestão <i>Lean</i> , com um foco particular em como algumas das tecnologias da Indústria 4.0 estão a melhorar a implementação dos princípios <i>Lean</i> , dependendo dos níveis de capacidade das tecnologias	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
10	(Tortorella & Fettermann, 2018)	<i>Lean</i>	<i>Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies</i>	Contribuições teóricas importantes para o estado da arte de produção <i>lean</i> , Indústria 4.0 e integração das tecnologias da Indústria 4.0 nas atuais práticas de gestão, como as práticas de <i>lean</i> , corroboram para a melhoria do desempenho operacional	Levantamento

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
11	(Sanders et al., 2017)	<i>Lean</i>	<i>Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction?</i>	Contribuição sobre os possíveis impactos da Indústria 4.0 nas ferramentas da abordagem de gestão <i>Lean</i>	Pesquisa Bibliográfica
12	(Kamble et al., 2020)	<i>Lean</i>	<i>Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies</i>	Identificação de efeitos diretos e indiretos significativos da I4.0 na sustentabilidade, com o <i>Lean</i> como uma forte variável mediadora. Os resultados do estudo realizado com dados coletados de 205 gerentes, trabalhando em 115 empresas indianas de manufatura apresentam a I4.0 como facilitadora das práticas <i>Lean</i> , levando ao aprimoramento do desempenho organizacional sustentável	Levantamento
13	(Sanders et al., 2016)	<i>Lean</i>	<i>Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing</i>	Identificação de barreiras para implantação do <i>Lean</i> sob a ótica da integração de recursos, bem como possíveis soluções, além da conceituação de manufatura enxuta e I4.0	Pesquisa Bibliográfica
14	(Bittencourt et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review</i>	Contribuição a respeito do papel do <i>Lean</i> na quarta revolução industrial	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
15	(Ramadan et al., 2020)	<i>Lean</i> Tempo Real	<i>Industry 4.0-based real-time scheduling and dispatching in lean manufacturing systems</i>	Aplicação de uma exigência da Indústria 4.0 em um processo <i>Lean</i> , o possível cenário da virtualização do mapeamento do fluxo de valor	Experimental

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
16	(Müller et al., 2017)	<i>Lean</i>	<i>Lean Information and Communication Tool to Connect Shop and Top Floor in Small and Medium-sized Enterprises</i>	A criação de uma interface homem-máquina ergonômica e métodos para integração enxuta em processos de negócios existentes, que auxilia no entendimento da integração <i>Lean</i> com a I4.0, além da conceituação de fatores da produção e sistemas ciberfísicos	Experimental
17	(Lekan et al., 2020)	<i>Lean Colaborativa</i>	<i>Lean Thinking and Industrial 4.0 Approach to Achieving Construction 4.0 for Industrialization and Technological Development.</i>	Parâmetros para integração prática da abordagem <i>Lean</i> com a Indústria 4.0 e expectativa de desempenho no ramo industrial da construção	Levantamento
18	(Ciano, Dallasega, et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study.</i>	Examina o efeito capacitador do <i>Lean</i> na I4.0 e o efeito capacitador do I4.0 na abordagem de gestão <i>Lean</i>	Estudo de caso
19	(Peças et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>PDCA 4.0: A New Conceptual Approach for Continuous Improvement in the Industry 4.0 Paradigm</i>	Para além de contribuições quanto a descrição dos Conceitos Tecnológicos I4.0, relata abordagens conceituais sobre a implementação da indústria 4.0 ao <i>Lean</i>	Misto (Pesquisa Bibliográfica + Experimental)
20	(Buer et al., 2018)	<i>Lean</i>	<i>The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda.</i>	Identificação de quatro principais linhas de pesquisa sobre a ligação entre a Indústria 4.0 e a manufatura enxuta	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
21	(Ejsmont et al., 2020)	<i>Lean</i>	<i>Towards 'Lean Industry 4.0' – Current trends and future perspectives</i>	Contribuição sobre a combinação de práticas <i>Lean</i> e da Indústria 4.0	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
22	(Kolberg et al., 2017)	<i>Lean</i>	<i>Towards a lean automation interface for workstations</i>	Apresenta métodos <i>Lean</i> integrados a I4.0 a partir de uma interface de comunicação unificada experimental que os digitaliza, uma interface de comunicação unificada e comum para digitalizar os métodos de produção enxuta	Experimental
23	(Tortorella, Sawhney, et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>Towards the proposition of a Lean Automation framework: Integrating Industry 4.0 into Lean Production</i>	Correlação sinérgica entre os princípios e práticas <i>Lean</i> com as tecnologias da I4.0, indicando que a coexistência de ambas as abordagens não é conflitante	Misto (Levantamento + Experimental)
24	(Bianco et al., 2021)	<i>Lean</i>	<i>Unlocking the Relationship Between Lean Leadership Competencies and Industry 4.0 Leadership Competencies: An ISM/Fuzzy MICMAC Approach</i>	Estuda a relação existente entre as competências dos líderes <i>Lean</i> e as competências dos líderes atuais na Indústria 4.0	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
25	(Gromova, 2018)	Ágil	<i>Agile management in the context of Russian industrial sector</i>	Conceituação de benefícios da abordagem de gestão ágil, bem como alguns passos e princípios que costumam caracterizá-la	Pesquisa Bibliográfica

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
26	(Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021)	Ágil <i>Lean</i>	<i>An Agile System to Enhance Productivity through a Modified Value Stream Mapping Approach in Industry 4.0: A Novel Approach</i>	Contribuição através de uma proposta de modelo ágil de produção relacionado ao mapeamento de fluxo de valor	Estudo de caso
27	(Rauch et al., 2019)	Ágil	<i>Axiomatic design guidelines for the design of flexible and Agile manufacturing and assembly systems for SMEs</i>	Reunião de diretrizes de projeto para sistemas de fabricação e montagem flexíveis e ágeis para pequenas e médias empresas	Misto (Design Assiomático)
28	(Ding et al., 2021)	Ágil <i>Lean</i>	<i>Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach</i>	Integração dos modelos de Gestão Ágil e Gestão <i>Lean</i>	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
29	(de Almeida et al., 2021)	Ágil Tempo Real	<i>Innovative Framework to manage New Product Development (NPD) Integrating Additive Manufacturing and Agile Management</i>	Relação entre conceitos da gestão ágil e de gestão tradicional, integração da gestão ágil com outro tipo de gestão (aditiva), melhores práticas para gestão ágil e importância do <i>backlog</i>	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
30	(Odważny et al., 2018)	Ágil <i>Lean</i>	<i>Smart Factory within sustainable development and green growth concepts</i>	Relação dos conceitos da I4.0 com abordagens de gestão, como pensamento enxuto ou ágil, e ainda com política de crescimento verde e desenvolvimento sustentável	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
31	(Jovanović et al., 2015)	Ágil	<i>The Agile approach in industrial and software engineering project management</i>	Comparação entre o modelo de projeto tradicional versus o de gestão ágil, destaca os melhores cenários para cada abordagem	Pesquisa Bibliográfica
32	(Moghaddam & Nof, 2018)	Colaborativa Ágil	<i>Collaborative service-component integration in cloud manufacturing</i>	Destaca o impacto significativo da colaboração no serviço e utilização dos recursos distribuídos	Experimental
33	(Xue et al., 2018)	Colaborativa	<i>Computational Experiment Research on the Equalization-Oriented Service Strategy in Collaborative Manufacturing</i>	Contribuição sobre a abordagem de gestão colaborativa em diferentes cadeias de suprimentos e equalização	Estudo de caso
34	(Bellavista et al., 2021)	Colaborativa	<i>Interoperable Blockchains for Highly-Integrated Supply Chains in Collaborative Manufacturing</i>	Relação entre a abordagem de gestão colaborativa com uma tecnologia de compartilhamento de dados	Experimental
35	(Mladineo et al., 2018)	Colaborativa	<i>Selecting Manufacturing Partners in Push and Pull-type Smart Collaborative Networks</i>	Comparação sobre a abordagem de gestão colaborativa nos cenários anterior e posterior a quarta revolução industrial	Estudo de caso
36	(Mladineo et al., 2017)	Colaborativa	<i>Solving partner selection problem in cyber-physical production networks using the HUMANT algorithm</i>	Contribuições sobre a tentativa de minimização do problema de seleção de parceiros	Experimental

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
37	(Vianna et al., 2020)	Colaborativa	<i>The role of crowdsourcing in industry 4.0: a systematic literature review.</i>	Determinação de como o <i>crowdsourcing</i> pode suportar a Indústria 4.0 com contribuições de uma abordagem de gestão colaborativa	Pesquisa Bibliográfica (Revisão Sistemática)
38	(Nakayama et al., 2020)	Colaborativa	<i>Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0</i>	Conceitualização do caminho tecnológico da Indústria 3.0 (I3.0) para I4.0, bem como a respeito de um ambiente com abordagem colaborativa entre empresas.	Misto (Pesquisa Bibliográfica + Estudo de caso)
39	(Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018)	Tempo Real	<i>A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0</i>	Para além do foco na abordagem de gestão em tempo real, há boas contribuições a respeito da abordagem de gestão colaborativa como um dos principais desafios da indústria 4.0	Pesquisa Bibliográfica
40	(Trovati et al., 2020)	Tempo Real	<i>An Entropy-Based Approach to Real-Time Information Extraction for Industry 4.0</i>	Necessidade de identificação do nível adequado de informações relevantes, o que permite uma abordagem eficiente para extração e avaliação de informações	Experimental
41	(J. Liu et al., 2021)	Tempo Real	<i>CNC Machine Tool Fault Diagnosis Integrated Rescheduling Approach Supported by Digital Twin-Driven Interaction and Cooperation Framework</i>	Contribuições sobre as exigências da indústria 4.0 e manufatura inteligente, especificamente sobre o uso de gêmeos digitais	Experimental
42	(Alvarez et al., 2020)	Tempo Real	<i>Comparing Admission Control Architectures for Real-time Ethernet</i>	Relaciona arquiteturas de controlo de admissão distribuído em tempo real com o centralizado	Experimental

N	Autor(es)	Bloco Sub-bloco	Título	Principais contribuições para esse estudo	Método de pesquisa
43	(Ciano, Pozzi, et al., 2021)	Tempo Real	<i>Digital twin-enabled smart industrial systems: a bibliometric review.</i>	Conceitualização sobre gêmeos digitais caracterizados pelas questões atuais de sistemas de tempo real e tecnologias da indústria 4.0	Pesquisa Bibliográfica
44	(Bousdekis et al., 2020)	Tempo Real	<i>Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities, and Managerial Implications</i>	Conceitos de manutenção preditiva a partir da abordagem de gestão em tempo real	Pesquisa Bibliográfica
45	(Zeng et al., 2019)	Tempo Real Ágil	<i>Time-slotted software-defined Industrial Ethernet for Real-time Quality of Service in Industry 4.0</i>	Destaque para a importância de sistemas em tempo real para o cumprimento das exigências da indústria 4.0	Experimental

4.2. VANTAGENS E BARREIRAS DAS ABORDAGENS DE GESTÃO

Este tópico possui o intuito de atender ao objetivo específico do estudo de auxiliar na identificação de potenciais vantagens e inconvenientes associadas aplicação dos diferentes tipos de abordagens identificadas.

A abordagem de gestão *lean* tem sido amplamente utilizada para maximizar o valor para os clientes (Agostinho & Baldo, 2021) e minimizar o desperdício (Rosin et al., 2020), sendo a redução de custos operacionais uma consequência esperada (Bittencourt et al., 2021). Por essas razões, conforme Sanders et al. (2017), o *lean* desempenha um papel vital a promover a qualidade e confiabilidade dos produtos e serviços que são entregues aos clientes.

Tortorella et al., (2020), embasados por Dora et al. (2015), destacam que a popularidade e implementação do *Lean* em relação a outras abordagens deve-se a rápida resposta obtida a partir da aplicação de ferramentas de gestão visual para resolução de problemas. Ao primar pela simplicidade e eficácia dos processos (Tortorella & Fettermann, 2018), este fator é capaz de reduzir a complexidade de todo o sistema de produção (Bittencourt et al., 2021; Kamble et al., 2020; Kolberg et al., 2017).

Uma barreira identificada por Agostinho e Baldo, (2021) é que o *lean* na busca por estabilidade nos níveis de produção, sacrifica a variabilidade do produto. Tortorella e Fettermann (2018) defendem que isso se dá, pois, em essência a implementação da gestão *lean* compreende um plano de baixa tecnologia.

Além disso, Tortorella e Fettermann (2018) também enfatizam a necessidade de envolver e capacitar os colaboradores, a fim de que se tornem agentes de mudança que objetivem manter um processo eficaz de resolução de problemas e identificação de gargalos e anormalidades. A ressaltar então a necessidade de trabalhadores qualificados independentemente de hierarquia ou funções (Bianco et al., 2021; Bittencourt et al., 2021; Sanders et al., 2016).

Kamble et al. (2020) descreve que restrições financeiras, suporte gerencial deficiente, baixa conscientização, comportamento relutante e falta de competência são desafios organizacionais comuns da implementação da abordagem. Esses fatores podem influenciar negativamente no objetivo de sustentar resultados a longo prazo (Ejsmont et al., 2020; Ramadan et al., 2020; Varela et al., 2019).

A fim de reunir vantagens e barreiras decorrentes da aplicação da abordagem de gestão da produção e da qualidade *lean* com as respectivas referências encontradas na análise sistemática da literatura a Tabela 7 foi elaborada.

Abordagem de Gestão Lean	
Vantagens e Barreiras	Referências
Visa a eliminação de perdas	(Agostinho & Baldo, 2021); (Bittencourt et al., 2021); (Buer et al., 2018); (Ciano, Dallasega, et al., 2021); (Ejsmont et al., 2020); (Ghaithan et al., 2021); (Kamble et al., 2020); (Kolberg et al., 2017); (Lekan et al., 2020); (Müller et al., 2017); (Peças et al., 2021); (Ramadan et al., 2020); (Rosin et al., 2020); (Sanders et al., 2017); (Tortorella, Saurin, et al., 2021); (Tortorella, Sawhney, et al., 2021); (Varela et al., 2019); (Villalba-Díez et al., 2020)
Redução de custos	(Agostinho & Baldo, 2021); (Bittencourt et al., 2021); (Ciano, Dallasega, et al., 2021); (Kamble et al., 2020); (Peças et al., 2021); (Sanders et al., 2016); (Tortorella et al., 2019); (Varela et al., 2019); (Villalba-Díez et al., 2020)
Aumento do desempenho do processo	(Agostinho & Baldo, 2021); (Bittencourt et al., 2021); (Buer et al., 2018); (Ciano, Dallasega, et al., 2021); (Ejsmont et al., 2020); (Kamble et al., 2020); (Peças et al., 2021); (Ramadan et al., 2020); (Sanders et al., 2016); (Tortorella et al., 2019); (Tortorella, Saurin, et al., 2021); (Tortorella, Sawhney, et al., 2021); (Tripathi, Chattopadhyaya, Mukhopadhyay, et al., 2021); (Varela et al., 2019);
Melhoria no ambiente de trabalho	(Ghaithan et al., 2021); (Peças et al., 2021); (Rosin et al., 2020); (Tripathi, Chattopadhyaya, Mukhopadhyay, et al., 2021); (Varela et al., 2019);
Promove a qualidade e confiabilidade dos produtos e serviços	(Agostinho & Baldo, 2021); (Ciano, Dallasega, et al., 2021); (Kolberg et al., 2017); (Rosin et al., 2020); (Sanders et al., 2017); (Tortorella & Fettermann, 2018)
Controle visual	(Bittencourt et al., 2021); (Buer et al., 2018); (Ramadan et al., 2020); (Rosin et al., 2020); (Tortorella et al., 2020); (Tortorella & Fettermann, 2018)
Redução da complexidade	(Bittencourt et al., 2021); (Kamble et al., 2020); (Kolberg et al., 2017); (Rosin et al., 2020); (Tortorella et al., 2020); (Tortorella & Fettermann, 2018)
Aumento da prática da economia circular e diminuição do lixo industrial	(Ghaithan et al., 2021); (Varela et al., 2019)
Baixa variabilidade	(Agostinho & Baldo, 2021); (Ejsmont et al., 2020); (Kolberg et al., 2017); (Peças et al., 2021);

Abordagem de Gestão Lean

Vantagens e Barreiras	Referências
Baixa mutabilidade / flexibilidade para alterações do produto	(Ciano, Dallasega, et al., 2021); (Ejsmont et al., 2020); (Kolberg et al., 2017); (Sanders et al., 2016);
Necessidade de trabalhadores qualificados	(Bianco et al., 2021); (Bittencourt et al., 2021); (Sanders et al., 2016); (Tortorella & Fettermann, 2018)
Falta de compartilhamento de informações ou comunicação com partes interessadas	(Bittencourt et al., 2021); (Tortorella & Fettermann, 2018)
Dificuldade em sustentar resultados a médio e longo prazo	(Ejsmont et al., 2020); (Ramadan et al., 2020); (Varela et al., 2019);

Através de uma pesquisa bibliográfica Jovanović et al. (2015) fizeram uma breve comparação entre o modelo de projeto tradicional versus o de gestão ágil e concluíram que o primeiro é mais apropriado a projetos com requisitos iniciais claros com nível baixo de incerteza.

A abordagem de gestão ágil busca obter o melhor desempenho e resultados com menos esforços ao trabalhar com inovações (de Almeida et al., 2021), ainda de acordo com Jovanović et al. (2015), a gestão ágil baseia-se em vários princípios de negócios como inovação contínua, adaptação de produtos, redução de prazos de entrega, ajuste de pessoas e processos e obtenção de resultados confiáveis.

De maneira a agregar valor com base nas necessidades e visão do cliente (Jovanović et al., 2015; Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021), a abordagem inclui interações como o envolvimento do cliente durante o processo de desenvolvimento do produto (de Almeida et al., 2021), através, conforme Gromova (2018), de ciclos curtos a fornecer atualizações incrementais rapidamente. E com a organização a obter o feedback ativo, há uma redução dos riscos envolvidos no projeto (Gromova, 2018; Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021) e a qualidade do produto e serviço é aumentada.

Apesar do plano de projeto ágil ser mais flexível e adaptável, com alterações a serem realizadas sem resistência (de Almeida et al., 2021; Ding et al., 2021; Rauch et al., 2019; Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021), há uma maior exigência de comunicação e envolvimento das partes (de Almeida et al., 2021; Jovanović et al., 2015). Com isso, a complexidade do sistema também aumenta (Rauch et al., 2019; Jovanović et al., 2015; Odważny et al., 2018) a demonstrar a necessidade de trabalhadores qualificados (Ding et al., 2021; Jovanović et al., 2015; Odważny et al., 2018).

Tendo em vista que um dos objetivos principais da manufatura ágil é desenvolver a capacidade de resposta com rápida reação (Ding et al., 2021; Jovanović et al., 2015; Rauch et al., 2019), a documentação das etapas de desenvolvimento do projeto não é prioridade (Jovanović et al., 2015) e o sistema ágil nem sempre é econômico (Ding et al., 2021; Rauch et al., 2019).

Na Tabela 8, foram esquematizadas as vantagens e barreiras associadas a implementação da abordagem de gestão ágil encontradas nos relatos dos artigos selecionados neste estudo.

Tabela 8 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão Ágil

Abordagem de Gestão Ágil	
Vantagens e Barreiras	Referências
Adaptabilidade e Flexibilidade	(Ding et al., 2021); (Gromova, 2018); (de Almeida et al., 2021); (Rauch et al., 2019); (Jovanović et al., 2015); (Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021)
Rápida reação	(Ding et al., 2021); (Jovanović et al., 2015); (Rauch et al., 2019);
Agrega valor na visão do cliente	(Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021); (Jovanović et al., 2015)
Redução dos riscos envolvidos no projeto	(Gromova, 2018); (Tripathi, Chattopadhyaya, Bhadauria, et al., 2021)
Exige maior envolvimento das partes	(de Almeida et al., 2021); (Jovanović et al., 2015)
Necessidade de trabalhadores qualificados	(Ding et al., 2021); (Jovanović et al., 2015); (Odważny et al., 2018)
Maior complexidade	(Rauch et al., 2019); (Jovanović et al., 2015); (Odważny et al., 2018)
Não é necessariamente econômico	(Ding et al., 2021); (Rauch et al., 2019)
Falta de documentação	(Jovanović et al., 2015)

Já a abordagem de gestão colaborativa é destacada por Nakayama et al. (2020) como uma forma de potencializar a criação de valor não somente entre empresas, mas também introduzir a cocriação de valor com clientes (Moghaddam & Nof, 2018; Vianna et al., 2020; Xue et al., 2018). Devido a isso, os experimentos numéricos de Moghaddam e Nof (2018) mostram que o cenário colaborativo supera o não colaborativo graças à possibilidade de provisão colaborativa de serviços compartilháveis, a destacar o impacto significativo da colaboração no serviço. Os mesmos autores concluem que à medida que o

número e a diversidade de componentes e serviços aumentam, a probabilidade de encontrar a melhor combinação para cada componente e serviço individual também aumenta.

Essa ampliação do alcance das ideias e percepções da colaboração permite com inovação que os problemas de desenvolvimento e produção sejam melhor solucionados (Nakayama et al., 2020; Vianna et al., 2020; Xue et al., 2018). Com facilidade e abertura para dar ideias, o ambiente de trabalho também passa por alterações no que diz respeito a motivação e engajamento dos colaboradores (Vianna et al., 2020), de maneira que há um maior sentimento de pertencimento.

De acordo com Xue et al. (2018), é possível personalizar várias estratégias de serviço com características distintas, por meio da troca de experiências, o que implica em grandes diferenças no desempenho da operação. Isso porquê a abordagem de gestão colaborativa é capaz de aumentar a agilidade e estabilidade do sistema de produção no melhor atendimento da demanda (Mladineo et al., 2018; Moghaddam & Nof, 2018) e sem grandes investimentos em recursos adicionais (Moghaddam & Nof, 2018; Xue et al., 2018).

Apesar da principal suposição por trás de uma rede de colaboração é que todas as interações são baseadas em colaboração e não em competição (Moghaddam & Nof, 2018), encontrar parceiros ideais é um grande desafio (Mladineo et al., 2017; Mladineo et al., 2018; Vianna et al., 2020). Afinal, as organizações ficam sujeitas a conflitos substanciais e instabilidade com indivíduos possivelmente tendenciosos e não confiáveis (Moghaddam & Nof, 2018). Além disso, ainda que os líderes entendam o que é gerir em colaboração, os objetivos das partes interessadas de cada organização podem ser distintos (Xue et al., 2018).

Outra possível dificuldade é que a interação entre setores, organizações e outras partes interessadas acabam por necessitar de um sistema minimamente interoperável (Bellavista et al., 2021; Mladineo et al., 2017; Moghaddam & Nof, 2018). Além disso, muitas informações implicam no armazenamento, tratamento e análise de uma grande quantidade de dados (Vianna et al., 2020). Portanto, há uma preocupação não apenas quanto a segurança, mas também quanto ao armazenamento desse *big data* (Bellavista et al., 2021; Moghaddam & Nof, 2018; Vianna et al., 2020; Xue et al., 2018).

A Tabela 9 resume os achados na literatura a respeito das vantagens e barreiras para a implementação da abordagem de gestão colaborativa.

Tabela 9 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão Colaborativa

Abordagem de Gestão Colaborativa	
Vantagens e Barreiras	Referências
Cocriação de valor	(Nakayama et al., 2020); (Moghaddam & Nof, 2018); (Vianna et al., 2020); (Xue et al., 2018)
Inovação, ampliação do alcance de ideias e percepções	(Nakayama et al., 2020); (Vianna et al., 2020); (Xue et al., 2018)
Motivação e engajamento	(Vianna et al., 2020)
Adaptação ágil	(Mladineo et al., 2018); (Moghaddam & Nof, 2018)
Não há necessidade de maiores investimentos	(Moghaddam & Nof, 2018); (Xue et al., 2018)
Dificuldade para encontrar parceiros ideais	(Mladineo et al., 2017); (Mladineo et al., 2018); (Vianna et al., 2020)
Partes interessadas com objetivos distintos	(Moghaddam & Nof, 2018); (Xue et al., 2018)
Preocupação quanto a interoperabilidade	(Bellavista et al., 2021); (Mladineo et al., 2017); (Moghaddam & Nof, 2018)
Exige altos níveis de segurança de dados e confiabilidade	(Bellavista et al., 2021); (Moghaddam & Nof, 2018); (Vianna et al., 2020); (Xue et al., 2018)

A abordagem de gestão em tempo real permite diagnosticar e prever falhas de equipamentos a partir da observação de dados de *status* instantaneamente atualizados de alta precisão (Liu et al., 2021). Com isso, segundo Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2018), projetistas e engenheiros são capazes de agir rapidamente, a fim de que o fluxo de otimização e personalização possa ser realizado continuamente.

A partir da detecção precoce de desvios não estocásticos na produção (Alvarez et al., 2020; Bousdekis et al., 2020; Ciano, Pozzi, et al., 2021) e maior facilidade de futuros diagnósticos (Liu et al., 2021; Trovati et al., 2020), as perdas no processo e os custos consequentes podem ser reduzidos (Bousdekis et al., 2020; Ciano, Pozzi, et al., 2021; Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018), a aumentar também a confiabilidade do produto (Liu et al., 2021; Trovati et al., 2020; Zeng et al., 2019).

Zeng et al. (2019) afirma que algumas das principais dificuldades da gestão em tempo real para Indústria 4.0 é estabelecer um sistema de comunicação que exija menos manutenção, menos infraestrutura, custos de reconfiguração menores e que ainda seja confiável e flexível. Em concordância, Alvarez et al.

(2020) e Trovati et al. (2020) salientam que a abordagem pode influenciar negativamente na flexibilidade operacional do processo de produção, ao destacarem uma preocupação em avaliar o nível de saturação de informação de um sistema complexo, que possui a necessidade do processamento preciso de dados (Bousdekis et al., 2020) além do sistema interoperável (Ciano, Pozzi, et al., 2021). Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2018) destacam ainda a necessidade de trabalhadores qualificados no sistema de produção a perceber como identificar gargalos nos sistemas ciberfísicos.

Para completar a análise das vantagens e barreiras associadas a implementação das abordagens de gestão da produção e da qualidade, a Tabelas 10 reúne os tópicos encontrados sobre a abordagem de gestão em tempo real.

Tabela 10 - Vantagens e Barreiras da Abordagem de Gestão em Tempo Real

Abordagem de Gestão em Tempo Real	
Vantagens e Barreiras	Referências
Deteção precoce de desvios, anomalias ou gargalos	(Alvarez et al., 2020); (Bousdekis et al., 2020); (Ciano, Pozzi, et al., 2021); (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018); (Liu et al., 2021)
Minimização de possíveis perdas / Diminuição de custos	(Ciano, Pozzi, et al., 2021); (Bousdekis et al., 2020); (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018)
Auxilia na redução dos tempos de produção	(Zeng et al., 2019)
Aumento da confiabilidade do produto	(Liu et al., 2021); (Trovati et al., 2020); (Zeng et al., 2019)
Facilitador para a otimização inteligente e futuros diagnósticos	(Liu et al., 2021); (Trovati et al., 2020)
Necessidade de trabalhadores qualificados	(Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018)
Exige a aquisição e processamento precisos de dados excessivos	(Bousdekis et al., 2020); (Trovati et al., 2020)
Preocupação quanto a interoperabilidade	(Alvarez et al., 2020); (Bousdekis et al., 2020); (Ciano, Pozzi, et al., 2021); (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018); (Liu et al., 2021); (Trovati et al., 2020); (Zeng et al., 2019)
Pode influenciar negativamente na flexibilidade operacional	(Alvarez et al., 2020); (Trovati et al., 2020); (Zeng et al., 2019)

Diante ao que foi retratado pelos autores dos artigos incluídos na revisão sistemática da literatura, que

não existe uma filosofia única que agregue apenas benefícios a funcionar; cada abordagem apresenta particularidades quando comparadas a suas concorrentes. Com isso, o presente tópico auxilia nessa identificação de potenciais vantagens e barreiras associadas a aplicação dos diferentes tipos de abordagens identificadas. Desse modo, a segunda questão de investigação que indaga se há um melhor tipo de abordagem de gestão para a I4.0 apresenta uma sugestão pela resposta negativa, porém permanece inconclusiva.

4.3. EXIGÊNCIAS DA INDÚSTRIA 4.0

Este tópico visa contribuir para o principal objetivo deste estudo de analisar abordagens de gestão da produção e da qualidade, de maneira a identificar sinergias, bem como discordâncias com atuais exigências impostas pela Indústria 4.0. Assim, serão apresentados indícios de que uma abordagem suporta exigências ou que exigências da I4.0 podem auxiliar em um tipo de gestão integrada.

Tortorella e Fettermann (2018) indicam que a abordagem de gestão *lean* prima pela simplicidade e eficácia geralmente alinhada com uma visão de negócio compartilhada. A ir de encontro com as exigências de descentralização e orientação à serviço, de acordo com Ciano, Dallasega et al. (2021), os benefícios *lean* ainda abrangem flexibilidade, compartilhamento de informações e colaboração, a melhorar a qualidade de serviço, bem como a satisfação do cliente.

Sanders et al. (2017) identificam que algumas das interações da abordagem de gestão *lean* com as exigências da Indústria 4.0 podem não ser tão claras como divergência de conceitos entre a modularidade da I4.0 e a padronização característica do *lean*, mas ressalta que o princípio de não desperdício deveria ser aplicado antes da virtualização, afim de manter padrões de dados consistentes para processamento adicional e, ainda destaca o quão importante a padronização se faz para alcançar a interoperabilidade. Em concordância, os resultados do estudo realizado por Kamble et al (2020), com dados coletados de 205 gerentes a trabalhar em 115 empresas indianas de manufatura, apresentam a I4.0 como facilitadora das práticas *lean*.

A importância do desenvolvimento sustentável é ressaltada por Lekan et al. (2020) ao defender que ambiente natural existente seja preservado de modo que não comprometa as chances de gerações futuras atenderem suas necessidades e afirmam ainda que este desenvolvimento é alcançável por meio da integração do conhecimento de variáveis econômicas e ambientais. O que leva a relevância dos resultados obtidos através do estudo realizado por Varela et al. (2019) que permitem afirmar que apesar

de existir uma relação entre I4.0 e Sustentabilidade, a relação entre o *lean* e a exigência de ecodesign não é confirmada.

Por outro lado, Kamble et al (2020) e Ghaiathan et al. (2021) constataram que o impacto das tecnologias da Indústria 4.0 no desempenho da sustentabilidade é ampliado com a presença da abordagem de gestão *lean* como forte variável mediadora, de maneira que sem a presença da manufatura enxuta o impacto no desempenho da sustentabilidade não seria tão perceptível e rápido. Da mesma forma, Tripathi, Chattopadhyaya, Mukhopadhyay et al. (2021) afirmam que a abordagem inteligente *lean* associada a técnica de sustentabilidade pode oferecer uma nova oportunidade para colaboradores melhorarem seu desempenho operacional e condições ambientais.

Conforme de Almeida et al. (2021), o gerenciamento ágil de projetos surgiu como um complemento a gestão de projetos tradicional, com a necessidade de atualizar e melhorar o processo de gestão de projetos e torna-lo mais flexível e interativo. Em paralelo, Ding et al. (2021) defendem que as tecnologias da Indústria 4.0 servem como facilitações para abordagem de gestão ágil, de maneira a melhorar a posição atual da empresa em termos de seu sistema de fabricação, controle, otimização de recursos, dados gerenciamento, relacionamento colaborativo e desenvolvimento de produtos.

Gromova (2018) afirma que o rápido crescimento do ritmo de desenvolvimento tecnológico leva em consideração as exigências do novo paradigma industrial; tendo a abordagem ágil com sua metodologia a atender os requisitos contemporâneos da nova era como um modelo promissor. Consoante, de Almeida et al. (2021) ainda ressalta que a associação da gestão ágil com a I4.0 pode reduzir o “*time to market*”, erros na produção e promover colaboração e dinamismo à equipa de desenvolvimento do produto, a ir de encontro com as exigências de descentralização, virtualização e orientação a serviço.

Conforme Jovanović et al. (2015), a indústria 4.0 é um verdadeiro exemplo de fabricação ágil; e sua capacidade de operação em tempo real deve diminuir significativamente tempo de desenvolvimento de novos produtos e fornecer uma solução para demandas de mercado altamente exigentes. Isso se dá, pois, conforme Rauch et al. (2019), a gestão ágil favorece a estrutura modular e escalável do sistema, sendo oposta à conhecida gestão de projetos em cascata, que valorizaria o planejamento extensivo e a pré-produção (Gromova, 2018).

Odważny et al. (2018) concluem que não há evidências na literatura suficientes que confirmem a relação do desenvolvimento sustentável da organização com a abordagem de gestão ágil. Por outro lado, Ding et

al. (2021) realizam afirmações de que tanto a gestão ágil quanto a gestão *lean* promovem melhorias de desempenho na I4.0 e podem se relacionar com a exigência de ecodesing.

Xue et al. (2018) reconhecem que com o rápido desenvolvimento da tecnologia, torna-se muito conveniente realizar a integração de informações de vários fabricantes a partir da abordagem de gestão colaborativa. Vianna et al. (2020) concordam que as tecnologias da I4.0 estão atribuindo novos papéis possíveis aos indivíduos para ajudar as organizações a criar valor. Dessa maneira, o ecossistema idealizado pela Indústria 4.0 prevê a descentralização do gerenciamento da organização, onde de acordo com Bellavista et al. (2021) as tecnologias da Indústria 4.0 também devem ser integradas horizontalmente: produtores, fornecedores e clientes devem colaborar.

A partir desse pensamento, conforme Nakayama et al. (2020) a fabricação e a inovação passam a ser apoiadas por redes de cocriação de valor e sistemas de serviço colaborativo que vão além da simples integração de dados entre empresas, sendo capaz de potencializar arranjos de fabricação mais ambiciosos e abrangentes, principalmente quando virtualizados e apoiados com tecnologias de capacidade em tempo real. Moghaddam e Nof (2018) destacam ainda que a integração colaborativa de componentes de serviço na fabricação virtualizada em nuvem pode suprir a demanda da Indústria 4.0 por agilidade de modularização e orientação a serviços.

Com o surgimento da Indústria 4.0, avanços tecnológicos associados a internet das coisas, ao *big data analytics*, a tecnologia de sensores e a inteligência artificial levaram ao design e implementação de novas abordagens para aproveitar ao máximo as soluções orientadas por dados (Trovati et al., 2020). Diante disso, a interoperabilidade, ou seja, a capacidade de um sistema interagir com outro, de maneira a utilizar diferentes plataformas de dados sem dificultar sua síntese, é o ponto de grande atenção para a abordagem de gestão colaborativa, principalmente tratando-se de colaboração entre empresas (Bellavista et al., 2021; Mladineo et al., 2017; Moghaddam & Nof, 2018).

Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2018) recordam que um dos princípios da Indústria 4.0 é coletar de maneira eficiente, rápida e flexível o máximo de informações em tempo real das diferentes partes da cadeia de valor, de maneira a auxiliar o aumento da qualidade. Neste cenário, Bousdekis et al. (2020) destacam que a manutenção preditiva também caminha para seu próximo passo evolutivo, alcançado com a exploração de informações em tempo real a gerar significativos dados antes mesmo que os sintomas sejam detetados manualmente.

Alvarez et al. (2020) afirmam que ao realizar a fusão do espaço físico e do espaço néctico - que refere-se ao ambiente virtual ou online no qual há interação e compartilhamento de informações sem limitações geográficas ou de tempo - acaba por envolver a virtualização do sistema de produção e Liu et al. (2021) acrescenta que o sistema em tempo real virtualizado torna-se capaz de realizar um diagnóstico de falhas mais eficiente e, ainda otimizar e melhor avaliar o planeamento, de maneira que a simulação e o aprimoramento de processos de produção são uma realidade cada vez mais implementada.

Em consequência, Alvarez et al. (2020) ressaltam que o comportamento ideal da abordagem de gestão em tempo real depende fortemente de sua arquitetura do sistema e, por isso, Ciano, Pozzi et al. (2021) não deixam de destacar a grande necessidade de interoperabilidade do sistema. Liu et al. (2021) dizem ainda que a abordagem de gestão em tempo real também deve permitir o compartilhamento de dados, conhecimentos e recursos a ir de encontro com a exigência de descentralização.

A fim de tornar mais visual a interação das abordagens de gestão com as exigências da Indústria 4.0, foi elaborada uma matriz de interdependência entre os dois quadros, representada pela Figura 14. Verticalmente cada exigência correlacionada com cada abordagem de gestão horizontalmente. O percentual das exigências por bloco apresentado se deu pela quantidade de citações ou nível de sinergia identificado em cada artigo de cada bloco.

A tomar como exemplo de leitura o nível de interação ou cooperação da exigência interoperabilidade com a abordagem de gestão *lean*: de um total de 24 artigos *lean*, 9 citaram ou demonstraram de alguma forma que seriam valorizados com a exigência de interoperabilidade da I4.0, representando, portanto 37,50% dos artigos. Dos 7 artigos classificados como abordagem de gestão ágil, 6 citaram a sua modularidade, representando 85,71% dos artigos. Da mesma forma, todos os artigos da abordagem de gestão em tempo real expressaram sua sinergia com as exigências de interoperabilidade, virtualização e capacidade em tempo real, a ficar com a marca de 100%.

A última coluna referente ao total apresenta o percentual equivalente as exigências adquiridas dentro das possíveis, por exemplo, dos 45 artigos de todas abordagens, 30 fizeram referências a exigência de descentralização a representar 66,67%. A última linha referente ao total apresenta o percentual equivalente da abordagem de gestão para todas exigências, por exemplo, a abordagem colaborativa atingiu a marca de 63,27% de sinergia com indústria 4.0, pois das 49 sinergias com exigências possíveis - isto é: 7 artigos multiplicados pelas 7 exigências - foram identificadas 31. Da mesma maneira o último número da linha e coluna de totais representa que em um total possível de 315 sinergias - 45 artigos

multiplicados pelas 7 exigências - 176 foram identificadas nos 45 artigos selecionados, atingindo o percentual de 55,87%.

Exigências / Abordagem	Lean	Ágil	Colaborativa	Tempo Real	Total
Interoperabilidade	37,50%	57,14%	42,86%	100,00%	51,11%
Virtualização	75,00%	85,71%	85,71%	100,00%	82,22%
Descentralização	58,33%	71,43%	100,00%	57,14%	66,67%
Capacidade em tempo real	62,50%	57,14%	42,86%	100,00%	64,44%
Orientação a serviço	33,33%	85,71%	100,00%	42,86%	53,33%
Modularidade	41,67%	85,71%	57,14%	42,86%	51,11%
Ecodesign	20,83%	42,86%	14,29%	14,29%	22,22%
Total	47,02%	69,39%	63,27%	65,31%	55,87%

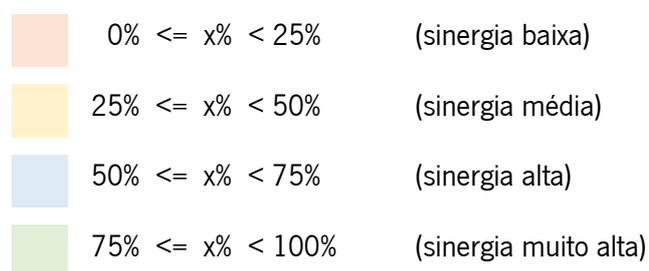


Figura 14 - Matriz de Interdependência Exigências X Abordagens

Tortorella, Saurin et al. (2021) ressaltam que validar quais práticas e princípios da integração da abordagem com a I4.0 possuem maior sinergia, pode reduzir esforços e atingir as vantagens esperadas. Por essa razão, o ecodesign ser a exigência da indústria 4.0 menos referenciada e a única a apresentar baixa sinergia, independentemente da abordagem de gestão, pode ser considerado grave a indicar a necessidade de maior cuidado para com a exigência, bem como a necessidade de mais estudos que a relacione.

Em contrapartida, ainda de acordo com os resultados da matriz de interdependência, a virtualização é indicada como a exigência que agrada, de maneira a ser classificada como sinergia muito alta por todas as abordagens e de maneira exclusiva. Ainda que não na melhor classificação, todas as demais

exigências conseguiram atingir o marco total de altas sinergias com as gestões.

Individualmente a interoperabilidade com as gestões *lean* e colaborativa; a capacidade em tempo real com gestão colaborativa; a orientação a serviço com *lean* e tempo real; a modularidade com *lean*, colaborativa e tempo real e; o ecodesign com gestão ágil ficaram classificadas como sinergia mediana, a também indicar pontos de atenção.

A interoperabilidade com gestão ágil; a descentralização com *lean*, ágil e em tempo real e; a capacidade em tempo real com *lean* e ágil conseguiram atingir a classificação de sinergia alta. E, ainda, para além da já mencionada virtualização com todas as gestões; a interoperabilidade com tempo real, a descentralização com colaborativa; a capacidade em tempo real com tempo real; a orientação a serviço com as gestões ágil e colaborativa e; a modularidade para gestão ágil chegaram aos melhores resultados, alguns deles até mesmo a representar 100%, a serem classificados como muito alta sinergia, a indicar de onde podem surgir as maiores vantagens de integração.

Em um nível geral, com o foco voltado às abordagens, os resultados apresentaram a gestão ágil com o maior percentual de interdependência com indústria 4.0, a atingir a marca de 69,39% de sinergia com as exigências. Seguida pelas abordagens de gestão em tempo real e gestão colaborativa, com 65,31% e 63,27%, respetivamente.

Por outro lado, o *lean* foi a que obteve o menor percentual geral, retendo 47,02% de sinergia. Ainda que tenha atingido a marca de alta sinergia para descentralização e capacidade em tempo real e muito alta para virtualização, os resultados sugerem que, entre as abordagens selecionadas, a gestão *lean* seria a menos compatível com as exigências a I4.0.

4.4. INTEGRAÇÃO DAS ABORDAGENS

Este tópico visa contribuir para responder à primeira questão de investigação deste estudo que indaga quais são as principais vantagens versus inconvenientes ou dificuldades na integração de abordagens de gestão da produção e da qualidade com a I4.0.

De acordo com Ciano, Dallasega et al. (2021), em uma perspectiva de integração, a abordagem de gestão *lean* está a enfrentar diversos desafios. Em concordância, Sanders et al. (2017) relata que a identificação das necessidades e expectativas do cliente apresentam uma maior complexidade. Complexidade esta que, segundo Agostinho e Baldo (2021), muito se dá pelo cenário de maior variabilidade de processos,

produtos e serviços, contrário a busca da gestão *lean* pela estabilidade e baixa customização. Com isso, Rauch et al. (2019) ressalta que uma gestão eficiente da variedade de produtos é essencial para garantir a sustentabilidade económica de uma organização.

Nas Pequenas e Médias Empresas (PME), a aquisição e transmissão de informações entre departamentos de negócios é realizada principalmente em papel e a documentação de atividades *lean* são feitas manualmente (Müller et al., 2017). Portanto, segundo Buer et al. (2018), os requisitos operacionais da empresa não estão sendo atingidos com os métodos básicos da abordagem de gestão *lean*. Neste cenário, Kolberg et al. (2017) e Ejsmont et al. (2020) também afirmam que a produção enxuta não é adequada para atender às futuras exigências do mercado, apesar de ter sido bem-sucedida e difundida.

Ramadan et al. (2020) realiza afirmativas ainda mais graves ao dizer que no sistema de manufatura altamente dinâmico de hoje, as ferramentas enxutas morrerão sem cuidados contínuos, uma vez que o enxuto foi originalmente projetado para ambientes de manufatura estáveis. Por outro lado, segundo Ciano, Dallasega et al. (2021), a literatura reconhece uma forte interdependência entre a Indústria 4.0 (Buer et al., 2018; Kamble et al., 2020; Rosin et al., 2020, Sanders et al., 2016; Tortorella & Fettermann, 2018) e a abordagem de gestão *lean*, de maneira que uma não implica no fim da outra.

Embora a abordagem de gestão *lean* seja reivindicada como uma filosofia de melhoria contínua sociotécnica e de baixa tecnologia, seus benefícios podem ser aprimorados se as tecnologias digitais forem devidamente incorporadas (Tortorella, Saurin, et al., 2021). Em concordância, Ejsmont et al. (2020) defende que a integração das práticas da abordagem *lean* com as da Indústria 4.0 parece ser um passo evolutivo necessário para elevar ainda mais o nível de excelência operacional.

A abordagem de gestão *lean* visa a eliminação de perdas, reduzindo custos e aumentando a qualidade e flexibilidade do sistema operacional (Agostinho & Baldo, 2021). Devido à sua alta eficácia e foco voltado a tarefas de agregação de valor, o conceito *Lean* ainda é bem-sucedido (Kolberg et al., 2017). Em razão disso, Agostinho e Baldo (2021) afirmam que um efeito positivo pode ser esperado da interação da *lean* com a I4.0, a afirmar ainda que, através de tecnologias da quarta revolução, o *lean* pode ser refinado a lidar com as flutuações do mercado. Bittencourt et al. (2021) e Rosin et al. (2020) concordam ao afirmar que isto se dá por ambos compartilharem princípios comuns de aumentar a flexibilidade e produtividade do sistema.

O estudo de Tortorella, Saurin et al. (2021) examina, através da análise multivariada das respostas de 110 fabricantes que vêm implementando concomitantemente a abordagem de gestão *lean* e a Indústria 4.0, as consequências pós aplicação de práticas da automação enxuta na melhoria do desempenho operacional das empresas e conclui que as organizações podem se beneficiar da implementação integrada. Já a revisão sistemática realizada por Bittencourt et al. (2021) identificou que conceitos de gestão *lean* como padronização, organização e transparência são fundamentais à implementação e consolidação da I4.0 e afirma que as tecnologias da Indústria 4.0 suportam diversos mecanismos de gestão *lean*, como as ferramentas de Gestão Visual.

O estudo de Rosin et al. (2020) possuía o objetivo de destacar ligações entre os princípios e ferramentas propostos pela Indústria 4.0 e aqueles propostos pela abordagem de gestão *lean* e; os resultados mostraram a necessidade de buscar a implantação da gestão *lean* enquanto melhora certos princípios com tecnologias da quarta revolução industrial. Kamble et al. (2020) ressaltam que essa melhora ainda pode apresentar fatores como o envolvimento do cliente, a elevar o nível atual de personalização oferecido. Desta forma, a I4.0 tenta ainda suprir a falta de mutabilidade para produção de itens personalizados característica da abordagem *lean* integrando suas tecnologias de produção (Kolberg et al., 2017).

De maneira a aumentar os resultados sustentáveis da organização e a confiabilidade do processo, Peças et al. (2021), fundamentado por Kamble et al. (2020), defende que a integração automação enxuta contribui positivamente para a eficácia de fatores como o feedback de fornecedores, o JIT e os sistemas de desenvolvimento de suprimentos, aprimorados com o uso de tecnologias da Indústria 4.0 como análises de *big data*, sensores, computação em nuvem e outros dispositivos de IoT (Tortorella, Sawhney, et al., 2021).

As descobertas da literatura realizadas por Ding et al. (2021) concluem que a integração da Indústria 4.0 e manufatura enxuta aumenta principalmente a competitividade de custos na dimensão de desempenho. O *Lean*, conforme Sanders et al. (2017), tenta reduzir esta complexidade a fim de obter soluções simples por meios simples, - de maneira a possibilitar, segundo Rosin et al. (2020), um uso econômico e eficiente das tecnologias da Indústria 4.0 - enquanto a Indústria 4.0 simplifica a complexidade do ponto de vista do usuário por meio de controle descentralizado e assistentes inteligentes.

As empresas sentem que a implementação da Indústria 4.0 deve ser simultânea à adoção das práticas da abordagem de gestão *lean* (Peças et al., 2021). Ciano, Dallasega et al. (2021) também relata ter identificado na literatura que a maioria dos estudos considera a abordagem de gestão *lean* como pré-requisito da Indústria 4.0, concluindo também que adotar as práticas da I4.0 pode superar os limites da manufatura enxuta e potencializar suas práticas.

Segundo o estudo de Rauch et al. (2019), organizações que implementaram com sucesso os métodos da abordagem *lean* terão mais facilidade ao aplicar e implementar as diretrizes de design da I4.0. Kamble et al. (2020), concorda que a implementação do *lean* permite que as organizações estejam preparadas para a I4.0. Isto porquê, segundo Rosin et al. (2020), a experiência de mudança organizacional para um sistema de produção *lean* já exigiria mudanças nas práticas dos colaboradores, de maneira a prepará-los para futuras alterações da implementação das exigências da Indústria 4.0, a minimizar o risco de falha.

Em contrapartida, apesar de Tortorella e Fettermann (2018) também defenderem que a Indústria 4.0 auxiliará a abordagem de gestão *lean* a superar barreiras existentes, destacam que a integração pode levar a novos desafios e ressaltam a importância do compartilhamento de informações como diferencial para melhorias mais ágeis. Isto porquê, conforme Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2018), a abordagem de gestão colaborativa, através da integração horizontal de empresas e clientes, impulsiona a cooperação e permite a criação de redes rápidas e flexíveis a proporcionar tempos de resposta reduzidos.

Ao projetar um fluxo de valor as organizações que passarem pela integração automação enxuta se beneficiam da simplicidade e eficiência características da abordagem de gestão *lean* com a facilidade e agilidade referente as técnicas da Indústria 4.0 (Tortorella et al., 2020). Villalba-Díez et al. (2020), já notam um desafio e destacam que tanto para desenhar os fluxos de valor associados à produção na Indústria 4.0, referentes a abordagem de gestão *lean*, quanto para realizar o diagnóstico de falhas, referente a abordagem de gestão em tempo real, grandes quantidades de dados serão geradas em sistemas ciberfísicos interconectados.

Kamble et al. (2020) faz referência a integração da abordagem de gestão *lean* com a abordagem de gestão colaborativa ao dizer que o futuro das práticas *lean* com a implementação da Indústria 4.0 engloba a conexão de fabricantes e fornecedores em uma rede única de colaboração, com compartilhamento tanto de equipamentos quanto de informações entre as partes interessadas (Sanders et al., 2016).

Com relação a abordagem de gestão ágil, Ding et al. (2021) concluíram que, não somente a manufatura ágil facilita a I4.0, como a quarta revolução industrial suporta a fabricação ágil; a dizer ainda que a integração de tecnologias da Indústria 4.0 com abordagem de gestão ágil aumentaria principalmente a flexibilidade na dimensão de desempenho. Em concordância, de Almeida et al. (2021), afirma que a gestão ágil se torna a mais indicada na condução de desenvolvimento de produtos e tecnologias inovadoras, entretanto ressaltam que as equipas ágeis devem aplicar práticas mais simples e enxutas a fim de serem mais eficientes durante o desenvolvimento do projeto.

Ding et al. (2021) relembra que ao implementar avanços da Indústria 4.0, a abordagem de gestão *lean* e a abordagem de gestão ágil podem coexistir em um sistema e a integração desses três paradigmas – I4.0, *lean* e ágil - pode superar os objetivos competitivos da qualidade, de flexibilidade, de tempo, de customização em massa e até mesmo de sustentabilidade. Uma outra vantagem identificada por Rauch et al. (2019) é que as organizações que já implementaram a abordagem de gestão *lean* provavelmente possuirão maior facilidade de implementar as diretrizes da abordagem de gestão ágil.

Nakayama et al. (2020) defenderam, fundamentados também por Bardhan et al. (2010), que a abordagem de gestão colaborativa discute a aplicação de tecnologias orientadas a serviços como forma de criar agilidade para que as empresas possam entregar processos de negócios mais flexíveis que potencializem o valor dos serviços a partir de seu acoplamento com os clientes, a reforçar a boa integração com a abordagem por gestão ágil.

Moghaddam e Nof (2018) apontam que a abordagem de gestão colaborativa também tem como objetivo criar ambientes de manufatura ágil com a capacidade de sustentar um estado de equilíbrio dinâmico por meio do aprendizado e adaptação dos comportamentos e interações dos componentes e serviços em resposta a eventos em tempo real.

Xue et al. (2018) destaca que a abordagem de gestão colaborativa em diferentes cadeias de suprimentos aumenta rapidamente em muitos clusters industriais. Peças et al. (2021) justifica que o sucesso se origina pela possibilidade de análise dos dados gerados pela interação entre as partes interessadas, que melhora o nível de customização oferecido. Fernandez-Carames e Fraga-Lamas (2018) revelam o quanto este contacto pode ser aprimorado com o uso de dispositivos IoT, além da filosofia da quarta revolução fornecer acesso a todas as informações de forma descentralizada aos diferentes colaboradores.

Em paralelo, a coleta de dados baseada na abordagem de gestão em tempo real permite a rápida reação dos gestores e projetistas a fim de que o fluxo de otimização e personalização não seja interrompido (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018). Nesse sentido cabe destacar a segurança cibernética, especialmente ao tratar da proteção da infraestrutura crítica da organização, é de extrema importância na era de dependência de redes (Fernandez-Carames & Fraga-Lamas, 2018). Neste propósito, conforme Villalba-Diez et al. (2020), se faz necessário um conjunto de políticas e regulamentos sólido para um sistema de gerenciamento de segurança eficiente.

A partir de uma pesquisa envolvendo 249 empresas de economias emergentes e desenvolvidas a implementar a automação enxuta, Tortorella et al. (2019) indicam que o contexto socioeconômico influencia na implementação da integração, mas que independentemente das barreiras e desafios a implementação é viável. Peças et al. (2021) ressalta que devido aos riscos associados a cibersegurança e a outros fatores de alto custo, a integração não será suave.

Müller et al. (2017) reconhece que o contexto da Indústria 4.0 exige repensar as formas existentes de organização do trabalho e design eficiente do local de trabalho, ressaltando a vitalidade de aceitação e motivação dos colaboradores para o sucesso da introdução e utilização de aplicações. Conforme Bianco et al. (2021), ainda que a Indústria 4.0 seja baseada na adoção de tecnologias de produção, a cultura organizacional é submetida a mudanças significativas que devem considerar o fator humano.

O artigo de Bianco et al. (2021) realiza uma análise sistemática da literatura onde identifica competências de liderança da abordagem de gestão *lean* e competências de liderança para I4.0 e, além de concluir que as competências dos líderes *Lean* podem sustentar as competências que deveriam ser desenvolvidas em líderes da Indústria 4.0, identificou forte sinergia entre as competências de ambos os conceitos, de modo que a grande parte das competências se influenciaram mutuamente.

A estrutura conceitual sugere teoricamente que abordagens de gestão podem ser implementadas em simultâneo em um sistema, onde a Indústria 4.0 é a iniciativa capacitadora chave para o desenvolvimento dessas estratégias de manufatura (Ding et al., 2021). Buer et al. (2018) também relata evidências da indústria a mostrar que as organizações são capazes de construir soluções híbridas.

Villalba-Diez et al. (2020) afirma que as partes interessadas exigem um aumento dos níveis de transparência e rastreabilidade na qualidade e eficiência dos processos, de maneira que as tecnologias significaram uma mudança de paradigma na resolução de problemas complexos no passado.

A adoção da mecânica da Indústria 4.0 tem sido apontada como um meio de tornar os processos de fabricação mais eficientes, além de aumentar a qualidade dos produtos (Tortorella & Fettermann, 2018). No entanto, conforme os mesmos autores, a maneira como esses conhecimentos são integrados com as abordagens de produção e quais processos eles podem suportar ainda carece de investigação.

4.5. GAPS DA LITERATURA

O trabalho revelou a relação de abordagens de gestão da produção e da qualidade com a indústria 4.0, a ressaltar que ainda existem lacunas e possibilidades de estudos promissores envolvendo os temas.

Em sua maioria, a natureza dos artigos encontrados na literatura para a integração da abordagem de gestão *lean* com a indústria 4.0 é conceitual ou de revisão bibliográfica, de maneira que, em concordância com Ejsmont et al (2020), faltam pesquisas empíricas e estudos de caso que confirmem a sinergia dos conceitos.

A literatura relacionada as abordagens de gestão ágil ou colaborativa em integração com I4.0 carece tanto de modelos teóricos qualitativos, quanto de estudos de caso ou resultados de pesquisas empíricas de forma quantitativa. Em geral, os estudos costumam realizar apenas considerações preliminares sobre possibilidades de interação. Alguns artigos apresentaram benefícios da gestão ágil ou colaboração entre partes interessadas, entretanto, poucos relatos realizam a correlação de uma abordagem com as tecnologias da Indústria 4.0.

A literatura supostamente relacionada abordagem de gestão em tempo real apresentou muitos trabalhos a apenas mencionar que dados em tempo real foram extraídos, mas em um contexto geral a maioria não prolongava conceitos sobre o tipo de gestão e não estava de acordo com os objetivos do presente estudo. Com relação a abordagem foram identificadas maiores necessidades de investigação sobre as questões de confiança, segurança cibernética e nível de autonomia, conforme Moghaddam e Nof (2018).

Estudos longitudinais também são recomendados na tentativa de perceber as reais contribuições das abordagens de gestão, bem como seus resultados a prazos mais longos. Além disso, estudos a respeito das exigências da quarta revolução, principalmente as poucas relações com *ecodesing*, destacam-se como uma oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas neste campo do conhecimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se concentrou na investigação de abordagens de gestão da produção e da qualidade, de maneira a identificar sinergias, bem como discordâncias com atuais exigências impostas pela Indústria 4.0. Após analisados os diferentes tipos de filosofias, métodos e tecnologias associadas à gestão integrada, realizou-se uma revisão sistemática da literatura com a finalidade de identificar as interações entre a Indústria 4.0 e as abordagens *lean*, ágil, colaborativa e em tempo real.

De acordo com os principais resultados encontrados, o *ecodesing* evidenciou-se como a exigência menos referenciada e a única a apresentar baixa sinergia, sendo grave ao indicar a necessidade de maior cuidado para com a exigência. Em contrapartida, a virtualização é indicada como a exigência que agrada, por ser classificada sinergia muito alta por todas as abordagens e de maneira exclusiva. As demais exigências abordadas conseguiram o marco total de alta sinergia, ainda que não tenham atingido a melhor classificação.

Já em relação aos resultados com o foco nas abordagens, a gestão ágil apresentou-se como a de maior percentual de interdependência com indústria 4.0, a atingir 69,39% de sinergia com as exigências. Afinal, abordagem de gestão ágil apresenta mais-valias para a indústria 4.0, utilizando de sua adaptabilidade e rápida reação, principalmente ao desenvolvimento de novos produtos e serviços, com foco no que é valor e qualidade para o cliente.

Em seguida, a abordagem de gestão em tempo real atingiu 65,31% de sinergia com exigências, evidenciando que muitas de suas práticas já fazem parte da quarta revolução industrial. Ao permitir a detecção precoce de desvios e a realização de diagnósticos futuros, a gestão minimiza perdas e aumenta a confiabilidade, de maneira a contribuir também para maximização da qualidade dos produtos e serviços oferecidos pelas organizações.

A abordagem de gestão colaborativa apresentou 63,27% de sinergia com as exigências, a carregar muitos conceitos da indústria 4.0, com destaque a relação da descentralização e orientação a serviço, que foram capazes de atingir seus valores máximos. Sua cocriação de valor, através do compartilhamento de informações, permite com inovação que os problemas de desenvolvimento e produção sejam melhor solucionados, de maneira a aumentar a agilidade e estabilidade do sistema de produção no melhor atendimento da demanda e sem grandes investimentos em recursos adicionais, apesar de sua dificuldade de encontrar parceiros ideais.

Em contrapartida, a abordagem de gestão *lean* foi a que obteve o menor percentual geral de sinergia, retendo 47,02%, a sugerir que, entre as abordagens selecionadas, o *lean* seria o menos compatível com as exigências da I4.0. Este resultado vai de encontro ao que alguns autores afirmam sobre a abordagem de gestão *lean* deixar de ser aplicável, por estar desatualizada (Buer et al., 2018; Ciano, Dallasega, et al., 2021; Ejsmont et al., 2020; Müller et al., 2017; Ramadan et al., 2020)

Não obstante, há evidências que comprovam a relevância da abordagem *lean* como de extrema importância para manufatura mundial, sendo, inclusive, muitas vezes considerada pré-requisito para a indústria 4.0, com seus valores e práticas a facilitar a implementação da quarta revolução. E ainda, a alta sinergia para descentralização e capacidade em tempo real e muito alta para virtualização comprovam que integração de com a Indústria 4.0 caracteriza o início da nova era *lean*.

A segunda questão de investigação indaga se há um melhor tipo de abordagem de gestão para a I4.0 e apesar dos resultados apresentarem abordagens mais sinérgicas do que outras, todas apresentam grandes vantagens e graus consideráveis de sinergia. De maneira a destacar que a Indústria 4.0, como iniciativa capacitadora que permite a integração entre abordagens de gestão e, ainda que sejam necessários estudos empíricos, indica uma estratégia conjunta de gestão integrada das abordagens como a ideal.

Uma das principais barreiras na implementação de qualquer filosofia de gestão é indiscutivelmente a necessidade de mudanças culturais dentro das organizações. A resistência aumenta quando exige investimentos iniciais. Os colaboradores dos diferentes níveis hierárquicos e *stakeholders* em geral devem ser incluídos no processo, de maneira que entendam as necessidades e percebam a diferença que suas ações podem impactar. Outra grande barreira identificada é a questão da cibersegurança, ainda que as tecnologias da I4.0 signifiquem uma mudança de paradigma na resolução de problemas complexos do passado. A partilha de dados, o rápido acesso à informação e a agilidade na gestão, impõem a real necessidade de interoperabilidade e confiabilidade entre partes.

Dificuldades e limitações

Durante o processo de revisão sistemática da literatura foram identificados inconvenientes como alguns bugs no servidor da plataforma de extração b-on, e dificuldades de manuseio nos dados arquivos extraídos para análise. Além disso, a seleção e inclusão de artigos é realizada por meio de um procedimento qualitativo, que carrega um certo nível de subjetividade, portanto alguns estudos podem ter sido negligenciados.

Grande parte das combinações de alguma abordagem de gestão da produção e da qualidade com a Indústria 4.0 encontradas são apresentadas em níveis muito gerais; também se recorda que a amostra de artigos relacionados ao *lean* é significativamente maior, de modo que é necessário um cuidado ao verificar se os resultados atingidos não são tendenciosos.

Apesar das limitações apresentadas, os resultados obtidos podem ser considerados robustos, afinal como a primeira revisão sistemática a envolver conceitos da quarta revolução industrial com conceitos das quatro abordagens de gestão de produção selecionadas, o presente trabalho fornece uma apresentação da atual literatura e pontos de vista teóricos.

Trabalhos futuros

Com base nas contribuições alcançadas no presente estudo e nos gaps da literatura identificados ficam expressas as necessidades de mais estudos empíricos das interações da I4.0 com as abordagens de gestão da produção. Bem como, estudos a respeito das exigências da quarta revolução aplicadas a organizações, com destaque ao *ecodesing*. Estudos longitudinais também são recomendados na tentativa de perceber as contribuições das abordagens de gestão, bem como seus resultados a prazos mais longos. Além disso, sugere-se uma análise comparativa entre organizações ou setores que aplicaram ou não as práticas da gestão integrada, a ressaltar ainda a possibilidade de levar em consideração o aspecto financeiro pouco citado; o real custo-benefício dos investimentos em tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236.
- Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. (2016). Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review. *International Journal of Management Reviews*, 18(2), 180–205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijmr.12068>
- Afonso, T. E. V. (2020). *Melhoria dos processos logísticos e das condições de trabalho associadas usando princípios de Lean Thinking numa empresa de componentes metálicos para automóveis* [Universidade do Minho]. <https://vpn.uminho.pt/+CSCO+0h75676763663A2F2F65726362667667626576687A2E6671687A2E687A766175622E6367++/handle/1822/67983>
- Agarwal, A., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2006). Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach. *European Journal of Operational Research*, 173(1), 211–225.
- Agostinho, Jr. V., & Baldo, C. R. (2021). Assessment of the impact of Industry 4.0 on the skills of Lean professionals. *Procedia CIRP*, 96, 225–229. <http://10.0.3.248/j.procir.2021.01.079>
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7), 709–756. <https://doi.org/10.1108/02656710810890890>
- Aires, R. W. do A., Moreira, F. K., & Freire, P. de S. (2017). Indústria 4.0: Competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. *VII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação*, 1–15.
- Almeida Marodin, G., & Saurin, T. A. (2015). Managing barriers to lean production implementation: context matters. *International Journal of Production Research*, 53(13), 3947–3962.
- Alpaydin, E. (2020). *Introduction to machine learning*. MIT press.
- Alvarez, I., Moutinho, L., Pedreiras, P., Bujosa, D., Proenza, J., & Almeida, L. (2020). Comparing Admission Control Architectures for Real-Time Ethernet. *IEEE Access, Access, IEEE*, 8, 105521–105534. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2999817>
- Alves, C., & Putnik, G. (2019). Cyber-Physical Production System (CPPS) decision making duration time impact on manufacturing system performance. *FME Transactions*, 47, 675–682. <https://doi.org/10.5937/fmet1904675A>
- Antonelli, D., & Bruno, G. (2019). Dynamic distribution of assembly tasks in a collaborative workcell of humans and robots. *FME Transactions*, 47, 723–730. <https://doi.org/10.5937/fmet1904723A>
- Ascorti, L., Savazzi, S., Soatti, G., Nicoli, M., Sisinni, E., & Galimberti, S. (2017). A wireless cloud network platform for industrial process automation : critical data publishing and distributed sensing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 66(4), 592–603.
- Atobishi, T., Gábor, S. Z., & Podruzsik, S. (2018). *Cloud computing and big data in the context of industry 4.0: opportunities and challenges*.
- Avram, M. G. (2014). Advantages and Challenges of Adopting Cloud Computing from an Enterprise Perspective. *Procedia Technology*, 12, 529–534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.525>
- Baldwin, C., & Clark, K. B. (2000). *Design rules: The power of modularity* (Vol. 1). MIT press.
- Bardhan, I. R., Demirkan, H., Kannan, P. K., Kauffman, R., & Sougstad, R. (2010). An interdisciplinary perspective on IT services management and service science. *Journal of Management Information Systems*, 26(4), 13–64. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222260402>
- Barenji, R. V., Barenji, A. V., & Hashemipour, M. (2014). A multi-agent RFID-enabled distributed control system for a flexible manufacturing shop. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(9), 1773–1791. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5597-2>

- Beck, K., Beedle, M., van Bennekum, A., Cockburn, A., Cunningham, W., Fowler, M., Grenning, J., Highsmith, J., Hunt, A., Jeffries, R., Kern, J., Marick, B., Martin, R., Mellor, S., Schwaber, K., Sutherland, J., & Thomas, D. (2001). *Manifesto for agile software development*.
- Beck, S., Bergenholtz, C., Bogers, M., Brasseur, T.-M., Conradsen, M. L., di Marco, D., Distel, A. P., Dobusch, L., Dörler, D., & Effert, A. (2022). The Open Innovation in Science research field: a collaborative conceptualisation approach. *Industry and Innovation*, 29(2), 136–185.
- Bellavista, P., Esposito, C., Foschini, L., Giannelli, C., Mazzocca, N., & Montanari, R. (2021). Interoperable Blockchains for Highly-Integrated Supply Chains in Collaborative Manufacturing. *Sensors*, 21(4955), 4955. <https://doi.org/10.3390/s21154955>
- Bhasin, S., & Burcher, P. (2006). Lean viewed as a philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Bianco, D., Godinho Filho, M., Osiro, L., & Ganga, G. (2021). Unlocking the Relationship Between Lean Leadership Competencies and Industry 4.0 Leadership Competencies: An ISM/Fuzzy MICMAC Approach. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3069127>
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2021). Industry 4.0 triggered by Lean Thinking: insights from a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1496–1510. <https://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/ns000290/authentication/index.php?url=https%3A%2F%2Fsearch.ebscohost.com%2Flogin.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26db%3Dedb%26AN%3D149091812%26amp%3Blang%3Dpt-pt%26site%3Deds-live%26scope%3Dsite>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital Twin – The Simulation Aspect. *Mechatronic Futures, Springer*, 59–74. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1>
- Bousdekis, A., Apostolou, D., & Mentzas, G. (2020). Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities, and Managerial Implications. *IEEE Engineering Management Review, Engineering Management Review, IEEE, IEEE Eng. Manag. Rev.*, 48(1), 57–62. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2958037>
- Bragança, S., Costa, E., Castellucci, I., & Arezes, P. M. (2019). A brief overview of the use of collaborative robots in industry 4.0: human role and safety. *Occupational and Environmental Safety and Health*, 641–650.
- Branquinho, C. L. da S. (2016). *Crowdsourcing: uma forma de inovação aberta*. CETEM/MCTI.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(1), 37–44.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
- 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), 2924–2940. <http://10.0.4.56/00207543.2018.1442945>
- Carvalho, B. V., & Mello, C. H. P. (2012). Aplicação do método ágil scrum no desenvolvimento de produtos de software em uma pequena empresa de base tecnológica. *Gestao e Producao*, 19(3), 557–573. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000300009>
- Chen, D., Doumeingts, G., & Vernadat, F. (2008). Architectures for Enterprise Integration and Interoperability: Past, Present and Future. *Computers in Industry*, 59, 647–659. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016>

- Christakis, A. N., Dye, K. M. C., & Shearer, W. L. (1999). Collaboration through communicative action: Resolving the systems dilemma through the cogniscope. *Systems: Journal of Transdisciplinary Systems Science*, 4(1–2), 9–32.
- Chukwu, U. C., Member, S., Mahajan, S. M., & Member, S. (2013). *Real-Time Management of Power Systems With V2G Facility for Smart-Grid Applications*. 1–9.
- Ciano, M. P., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. *International Journal of Production Research*, 59(5), 1386–1410. <http://10.0.4.56/00207543.2020.1821119>
- Ciano, M. P., Pozzi, R., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Digital twin-enabled smart industrial systems: a bibliometric review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(7/8), 690–708.
<https://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/ns000290/authentication/index.php?url=https%3A%2F%2Fsearch.ebscohost.com%2Flogin.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26db%3Dedb%26AN%3D152396068%26amp%3Blang%3Dpt-pt%26site%3Deds-live%26scope%3Dsite>
- Corvello, V., & Migliarese, P. (2007). Virtual forms for the organization of production: A comparative analysis. *International Journal of Production Economics*, 110(1–2), 5–15.
- Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2000). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement - A practical analysis. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(12), 1488–1502. <https://doi.org/10.1108/01443570010355750>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394.
- Datta, S. (2016). Emergence of Digital Twins. *Arxiv.Org*, 13. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/104429>
- de Almeida, J. F., Amaral, D. C., & Coelho, R. T. (2021). Innovative Framework to manage New Product Development (NPD) Integrating Additive Manufacturing (AM) and Agile Management. *Procedia CIRP*, 103, 128–133. <http://10.0.3.248/j.procir.2021.10.020>
- de Moura, J. L. V., & de Almeida, P. R. V. (2021). Tecnologias Aplicadas à Filosofias Japonesas para Empresas. *Uni Evangélica*, 1–16.
- de Souza, R. P., Hékis, H. R., Ribeiro, R. D. M., & Valentim, R. A. D. M. (2014). Avaliação e Monitoramento de Processos de Produção Utilizando Recurso da Gestão à Vista em uma grande indústria do setor têxtil no estado do Rio Grande do Norte. *Review of Administration and Innovation - RAI*, 11, 1–19. <https://doi.org/10.5773/rai.v11i1.1142>
- Ding, B., Ferras Hernandez, X., & Agell Jane, N. (2021). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *PRODUCTION PLANNING & CONTROL*. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934587>
- Dora, M., Kumar, M., & Gellynck, X. (2015). Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs - A multiple case analysis. *Production Planning & Control*, 27, 1–23. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1050477>
- Dotoli, M., Fanti, M. P., Iacobellis, G., & Rotunno, G. (2014). An integrated technique for the internal logistics analysis and management in discrete manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27, 165–180. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.802370>
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56–58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- Dworschak, B., & Zaiser, H. (2014). Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing – First Findings and Scenarios. *Procedia CIRP*, 25, 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.048>

- Ejsmont, K., Gladysz, B., Corti, D., Castaño, F., Mohammed, W. M., & Lastra, J. L. M. (2020). Towards 'Lean Industry 4.0' – Current trends and future perspectives. *Cogent Business & Management*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1781995>
- Felix, G., & Silva, S. (2020). A importância da tecnologia da informação no processo de tomada de decisão. *Revista Mythos*, 12, 56–65. <https://doi.org/10.36674/mythos.v12i2.309>
- Fernandez-Carames, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. *IEEE Access, Access, IEEE*, 6, 25939–25957. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501>
- Ferreirinha, L., Baptista, S., Pereira, Â., Santos, A., Bastos, J., Madureira, A., & Varela, M. L. (2019). An Industry 4.0 oriented tool for supporting dynamic selection of dispatching rules based on Kano model satisfaction scheduling. *FME Transactions*, 47, 757–764. <https://doi.org/10.5937/fmet1904757F>
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. de, & Tortorella. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), 255–268.
- Fliedner, G. (2003). CPFR: an emerging supply chain tool. *Industrial Management & Data Systems*.
- Flumerfelt, S., Siriban-Manalang, A. B., & Kahlen, F.-J. (2012). Are agile and lean manufacturing systems employing sustainability, complexity and organizational learning? *The Learning Organization*, 19, 238–247. <https://doi.org/10.1108/09696471211219976>
- Fowler, M., & Highsmith, J. (2001). The agile manifesto. *Software Development*, 9(8), 28–35.
- Gajdzik, B. (2014). Autonomous and professional maintenance in metallurgical enterprise as activities within total productive maintenance. *Metalurgija*, 53, 269–272.
- Galhardi, A. C., & Tabeta, A. M. (2021). Modelos de maturidade em lean manufacturing : uma. *Brazilian Journals of Business*, 312–323. <https://doi.org/10.34140/bjbv3n1-019>
- Galvao, T., Andrade Pansani, T., & Harrad, D. (2015). Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiol Serv Saude*, 24. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>
- Gendreau, D., Lesage, J. J., & Timon, G. (1993). An integration of production management rules and fabrication know-how for real-time cell production control. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 10(1–2), 115–122.
- Ghaithan, A., Khan, M., Mohammed, A., & Hadidi, L. (2021). Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia. *Sustainability*, 13(11252), 11252. <https://doi.org/10.3390/su132011252>
- Gromova, E. (2018). Agile management in the context of Russian industrial sector. *MATEC Web of Conferences*, 178, 8007. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817808007>
- Guertler, M. R., & Sick, N. (2021). Exploring the enabling effects of project management for SMEs in adopting open innovation—A framework for partner search and selection in open innovation projects. *International Journal of Project Management*, 39(2), 102–114.
- Ha, K.-M. (2016). Disasters can happen to anybody: The case of Korea. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.002>
- Habib, M. K., & Chimsom, C. (2019). Industry 4.0: Sustainability and Design Principles. *2019 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/REM.2019.8744120>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review. *Technische Universität Dortmund, Dortmund*, 45.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

- Herron, C., & Braiden, P. M. (2006). A methodology for developing sustainable quantifiable productivity improvement in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 104(1), 143–153.
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Hollerer, T., Schmalstieg, D., & Reitmayr, G. (2008). Augmented reality in education and training. *Computer*, 41(8), 62–68.
- Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(11), 917–926.
- Hu, Q., & Billinghamurst, M. (2006). An overview of augmented reality. *Journal of Cyberpsychology and Behavior*, 9(5), 461–465.
- Hua, Wang, Yu, Zhu, & Wang. (2019). Control Strategy Optimization for Two-Lane Highway Lane-Closure Work Zones. *Sustainability*, 11(17), 4567. <https://doi.org/10.3390/su11174567>
- Huang, G., Zhang, Y., & Jiang, P. (2008). *RFID-based wireless manufacturing for real-time management of job shop WIP inventories*. 752–764. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0897-4>
- Huang, J., Pham, D., Wang, Y., Ji, C., Xu, W., Liu, Q., & Zhou, Z. (2019). A strategy for human-robot collaboration in taking products apart for remanufacture. *FME Transactions*, 47, 731–738. <https://doi.org/10.5937/fmet1904731H>
- Iszczuk, A. C. D., Ventris, K. F. D., Pinto, G. B., Shirabayashi, J. V., dos Santos, M. A. R., de Souza, R. C. T., & Dal Molin Filho, R. G. (2021). Evoluções das tecnologias da indústria 4.0: dificuldades e oportunidades para as micro e pequenas empresas. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 50614–50637.
- Ivančić, L., Suša Vugec, D., & Bosilj Vukšić, V. (2019). Robotic Process Automation: Systematic Literature Review. In C. di Ciccio, R. Gabryelczyk, L. Garcia-Bañuelos, T. Hernaus, R. Hull, M. Indihar Štemberger, A. Kó, & M. Staples (Eds.), *Business Process Management: Blockchain and Central and Eastern Europe Forum* (pp. 280–295). Springer International Publishing.
- Jabbour, C. J. C., Jugend, D., Jabbour, A. B. L. de S., Govindan, K., Kannan, D., & Leal Filho, W. (2018). “There is no carnival without samba”: Revealing barriers hampering biodiversity-based R&D and eco-design in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 206, 236–245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.019>
- Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., & Giallanza, A. (2021). Industry 4.0 Technologies for Manufacturing Sustainability: A Systematic Review and Future Research Directions. In *Applied Sciences* (Vol. 11, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/app11125725>
- Jasti, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885.
- Jovanović, M., Latić, B., Mas, A., & Mesquida, A. (2015). The agile approach in industrial and software engineering project management. *Journal of Applied Engineering Science*, 13(4), 213–216. <https://doi.org/10.5937/jaes13-9577>
- Junior, M. L., & Godinho Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13–21.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry* (Issue April). Acatech. https://www.bibsonomy.org/bibtex/25c352acf1857c1c1839c1a11fe9b7e6c/flint63%0Ahttp://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_0_final_report.pdf
- 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. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>
- Karnouskos, S., Leitao, P., Ribeiro, L., & Colombo, A. (2020). Industrial Agents as a Key Enabler for

- Realizing Industrial Cyber-Physical Systems: Multiagent Systems Entering Industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine, Industrial Electronics Magazine, IEEE, EEE Ind. Electron. Mag.*, 14(3), 18–32. <https://doi.org/10.1109/MIE.2019.2962225>
- Kogien, M. (2017). *Implantação da ferramenta kanban e da estratégia just-in-time adaptados para a gestão do tempo de permanência do paciente em uma unidade de terapia intensiva.*
- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845–2856. <http://10.0.4.56/00207543.2016.1223384>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870–1875.
- Koontz, T. M., & Thomas, C. W. (2006). What do we know and need to know about the environmental outcomes of collaborative management? *Public Administration Review*, 66, 111–121.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72) [Stanford University]. https://www.researchgate.net/publication/243781224_Application_of_the_New_Production_Philosophy_to_Construction
- Krantz, J. H., & White, S. L. (2007). Augmented reality technologies, systems and applications. *Springer Science & Business Media.*
- Krishna, A., & Nair, S. v. (2018). Toyota Production System as a Benchmark to Improve Business Productivity. *International Journal of Innovative Science and Research Technology.*
- Laaki, H., Miche, Y., & Tammi, K. (2019). Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks: Application of Remote Surgery. *IEEE Access, Access, IEEE*, 7, 20325–20336. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897018>
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720.
- Laney, D. (2001). 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety. *Meta Group Research Note.*
- Laney, D. (2012). The Many Vs of Big Data. *Gartner Consulter.*
- Lara, A. C., Menegon, E. M. P., Sehnem, S., & Kuzma, E. (2022). Relationship between Just in Time, Lean Manufacturing, and Performance Practices: a meta-analysis. *Gestão & Produção*, 29.
- Lee, H. (2019). Real-time manufacturing modeling and simulation framework using augmented reality and stochastic network analysis. *Virtual Reality*, 23(1), 85–99. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0343-6>
- Lekan, A., Clinton, A., Fayomi, O. S. I., & James, O. (2020). Lean Thinking and Industrial 4.0 Approach to Achieving Construction 4.0 for Industrialization and Technological Development. *Buildings*, 10(221), 221. <https://doi.org/10.3390/buildings10120221>
- Li, J. Q., Yu, F. R., Deng, G., Luo, C., Ming, Z., & Yan, Q. (2017). Industrial Internet: A Survey on the Enabling Technologies, Applications, and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(3), 1504–1526. <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2691349>
- Liao, Y., Freitas, E., Loures, R., & Deschamps, F. (2018). Industrial Internet of Things : A Systematic Literature Review and Insights. *IEEE Internet of Things Journal.* <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2834151>
- Liker, J. K. (2004). *Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer.* McGraw-Hill Education.
- Lima, O., Tereso, A., & Fernandes, G. (2022). Innovation and Sustainability Practices in Project Management Within SMEs Context – A Systematic Literature Review. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 470 LNNS, 45–59. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04829-6_5

- Liu, J., Yu, D., Hu, Y., Yu, H., He, W., & Zhang, L. (2021). CNC Machine Tool Fault Diagnosis Integrated Rescheduling Approach Supported by Digital Twin-Driven Interaction and Cooperation Framework. *IEEE ACCESS*, *9*, 118801–118814. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3106797>
- Liu, W. N., Zheng, L. J., Sun, D. H., Liao, X. Y., Zhao, M., Su, J. M., & Liu, Y. X. (2012). RFID-enabled real-time production management system for Loncin motorcycle assembly line. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *25*(1), 86–99.
- Lu, D. (1989). *Kanban Just-in Time at Toyota*. Productivity Pr.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, *6*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Mabkhot, M. M., Al-Ahmari, A. M., Salah, B., & Alkhalefah, H. (2018). Requirements of the smart factory system: A survey and perspective. *Machines*, *6*(2). <https://doi.org/10.3390/MACHINES6020023>
- Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. [Internet], *9*, 381–386.
- Marnewick, A. L., & Marnewick, C. (2020). The Ability of Project Managers to Implement Industry 4.0-Related Projects. *IEEE Access*, *8*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2961678>
- Marques, M., Agostinho, C., Zacharewicz, G., & Jardim-Gonçalves, R. (2017). Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, *9*(3), 299–313. <https://doi.org/10.3233/AIS-170436>
- Matičević, G., Brlić-Mažuranić, T. I., Brod, S., Dabić, M., & Daim, T. U. (2010). Using RFID for Real-Time Production Management in the Digital Enterprise. *Proceedings of 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT*, 213–216.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think. In *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Mello, C. H. P. (1998). *Auditoria Contínua: Estudo de Implementação de uma Ferramenta de Monitoramento para Sistema de Garantia da Qualidade com Base nas normas NBR ISO 9000*. 76. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3863.2807>
- Mills, A. (1998). *Collaborative engineering and the Internet: linking product development partners via the web*. Society of Manufacturing Engineers.
- Mladineo, M., Celar, S., Celent, L., & Crnjac, M. (2018). Selecting manufacturing partners in push and pull-type smart collaborative networks. *Advanced Engineering Informatics*, *38*, 291–305. <http://10.0.3.248/j.aei.2018.08.001>
- Mladineo, M., Veza, I., & Gjeldum, N. (2017). Solving partner selection problem in cyber-physical production networks using the HUMANT algorithm. *International Journal of Production Research*, *55*(9), 2506–2521. <http://10.0.4.56/00207543.2016.1234084>
- Moghaddam, M., & Nof, S. Y. (2018). Collaborative service-component integration in cloud manufacturing. *International Journal of Production Research*, *56*(1/2), 677–691. <http://10.0.4.56/00207543.2017.1374574>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group*, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, *151*(4), 264–269.
- Moori, R. G., Filho, M. A. de A., & Marcondes, R. C. (2007). *Performance of Collaborative Management in Food Companies*. *4*(3), 201–212.
- Msanjila, S. S., & Afsarmanesh, H. (2008). Trust analysis and assessment in virtual organization breeding environments. *International Journal of Production Research*, *46*(5), 1253–1295.
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness

- (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517–3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Müller, R., Vette, M., Hörauf, L., Speicher, C., & Burkhard, D. (2017). Lean Information and Communication Tool to Connect Shop and Top Floor in Small and Medium-sized Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 11, 1043–1052. <http://10.0.3.248/j.promfg.2017.07.215>
- Nakayama, R. S., Spínola, M. de M., & Silva, J. R. (2020). Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0. *Computers & Industrial Engineering*, 144. <http://10.0.3.248/j.cie.2020.106453>
- Nedelcu, B. (2013). About Big Data and its Challenges and Benefits in Manufacturing. *Database Systems Journal*, 11(3), 10–19.
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Netto, R. S. (2018). *Framework em Tempo Real para Sistema de Gerenciamento de Energia de uma Smart Microgrid Utilizando Sistema Multiagente*.
- Noureddine, A. A., Damodaran, M., & Younes, S. (2009). A framework for harnessing the best of both worlds in software project management: Agile and traditional. *Proceedings of the Information Systems Education Conference, ISECON, 26*(Washington DC), 0–9.
- Odważny, F., Wojtkowiak, D., Cyplik, P., & Adamczak, M. (2018). Smart Factory within sustainable development and green growth concepts. *LogForum*, 14(4). <https://widgets.ebscohost.com/prod/customerspecific/ns000290/authentication/index.php?url=https%3A%2F%2Fsearch.ebscohost.com%2Flogin.aspx%3Fdirect%3Dtrue%26db%3Dedsdoj%26AN%3Dedsdoj.1ee6e5958724114bdc124113dd5127a%26amp%3Blang%3Dpt-pt%26site%3Deds-live%26>
- Ohno, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala* (Bookman, Ed.; 01–1997th ed.).
- Oliveira e Sá, J., Pereira, J. L., & Cacho, J. (2019). Internet of Things evolution: A European Perspective. *FME Transactions*, 47(4), 739–748. <https://doi.org/10.5937/fmet19047390>
- Ollila, S., & Yström, A. (2017). An investigation into the roles of open innovation collaboration managers. *R&d Management*, 47(2), 236–252. <https://doi.org/10.1111/radm.12197>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>
- Papadopoulou, T. C., & Özbayrak, M. (2005). Leanness: experiences from the journey to date. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Park, J. H., & Lee, T. H. (2017). A novel Lyapunov functional for stability of time-varying delay systems via matrix-refined-function. *Automatica*, 80, 239–242.
- Peças, P., Encarnação, J., Gambôa, M., Sampayo, M., & Jorge, D. (2021). PDCA 4.0: A New Conceptual Approach for Continuous Improvement in the Industry 4.0 Paradigm. *Applied Sciences*, 11(7671), 7671. <https://doi.org/10.3390/app11167671>
- Pereira, A., Dinis-Carvalho, J., Alves, A., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance Lean practices. *FME Transactions*, 47, 810–822. <https://doi.org/10.5937/fmet1904810P>
- Pinto, J. P. (2020). *A relação entre lean manufacturing e indústria 4.0: uma revisão sistemática da literatura* [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa]. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/20104>
- Poullisse, H., van Overschee, P., Briers, J., Moncur, C., & Goh, K.-C. (2006). Continuous well production flow monitoring and surveillance. *Intelligent Energy Conference and Exhibition*.

- Power, D. J. (2002). *Decision support systems: Concepts and resources for managers*. Greenwood Publishing Group.
- Putnik, G. D., Varela, M. L. R., Carvalho, C., Alves, C., Shah, V., Castro, H., & Ávila, P. (2015). *Smart objects embedded production and quality management functions*.
- Putnik, G., Ferreira, L., Lopes, N., & Putnik, Z. (2019). What is a Cyber-Physical System: Definitions and models spectrum. *FME Transactions*, *47*, 663–674. <https://doi.org/10.5937/fmet1904663P>
- Putnik, G., & Putnik, Z. (2012). Lean vs agile in the context of complexity management in organizations. *Learning Organization, The*, *19*, 248–266. <https://doi.org/10.1108/09696471211220046>
- Rahimi, A., & Alemtabriz, A. (2022). Providing a model of LeAgile hybrid paradigm practices and its impact on supply chain performance. *International Journal of Lean Six Sigma*.
- Ramadan, M., Salah, B., Othman, M., & Ayubali, A. A. (2020). Industry 4.0-Based Real-Time Scheduling and Dispatching in Lean Manufacturing Systems. *Sustainability*, *12*(6), 2272. <https://doi.org/10.3390/su12062272>
- Rassolov, T. V. (2013). Gestão da Produção em Tempo Real. *Tecnologia Da Informação Em Design e Manufatura*, *1*, 42–48.
- Rauch, E., Spena, P. R., & Matt, D. T. (2019). Axiomatic design guidelines for the design of flexible and agile manufacturing and assembly systems for SMEs. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, *13*(1). <https://doi.org/10.1007/s12008-018-0460-1>
- Rio, M., Reyes, T., & Roucoules, L. (2010). A framework for ecodesign : an interface between LCA and design process. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal Of Engineering*, *9*(1), 121–126.
- Rodrigues, L. F., de Jesus, R. A., & Schützer, K. (2016). Industrie 4.0—A Literature Review. *Revista de Ciência & Tecnologia*, *19*(38), 33–45.
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, *58*(6), 1644–1661. <http://10.0.4.56/00207543.2019.1672902>
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See*. Lean Enterprise Institute (LEI).
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean enterprise institute.
- Rubmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: World Economic Forum. *The Boston Consulting Group*, 1–20.
- Sagiroglu, S., & Sinanc, D. (2013). Big data: A review. *Proceedings of the 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, CTS 2013*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567202>
- Sahal, R., Breslin, J. G., & Ali, M. I. (2020). Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case. *Journal of Manufacturing Systems*, *54*(November 2019), 138–151. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.11.004>
- Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). Revoluções Industriais até a Industria 4.0. *Revista Interface Tecnológica*, *15*(2), 480–491. <https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, *9*(3), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Sanders, A., K. Subramanian, K. R., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2017). Industry 4.0 and Lean Management – Synergy or Contradiction? In H. Lödding, R. Riedel, K.-D. Thoben, G. von Cieminski, & D. Kiritsis (Eds.), *Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing* (pp. 341–349). Springer International Publishing.
- Schonberger, R. J. (2002). *Best practices in lean six sigma process improvement*. John Wiley & Sons.
- Schuh, G., Kampker, A., Stich, V., & Kuhlmann, K. (2011). Prozessmanagement. In *Strategie und*

- Management produzierender Unternehmen* (pp. 327–382). Springer.
- Schuh, G., Potente, T., Thomas, C., & Hauptvogel, A. (2014). Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Eds.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung · Technologien · Migration* (pp. 277–295). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8_14
- Schwab, K. (2016). *A Quarta Revolução Industrial* (Levoir, Ed.).
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2011). The scrum guide. *Scrum Alliance*, 21(19), 1.
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Crown.
- Seth, D., & Gupta, V. (2005). Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study. *Production Planning & Control*, 16(1), 44–59.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805.
- Shang, S. S., & Seddon, P. B. (2002). Assessing and managing the risks of IT outsourcing. *California Management Review*, 45(2), 21–36.
- Shani, A. B., Mohrman, S. A., Pasmore, W. A., Stymne, B., & Adler, N. (2007). *Handbook of collaborative management research*. Sage Publications.
- Shaukat, K., Luo, S., Varadharajan, V., Hameed, I. A., Chen, S., Liu, D., & Li, J. (2020). Performance Comparison and Current Challenges of Using Machine Learning Techniques in Cybersecurity. In *Energies* (Vol. 13, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/en13102509>
- Shavlik, J. W., Dietterich, T., & Dietterich, T. G. (1990). *Readings in machine learning*. Morgan Kaufmann.
- Shi, C., Wu, C., Han, X., Li, Z., & Xie, Y. (2016). *The Review of Big Data. January 2016*. <https://doi.org/10.2991/emim-16.2016.26>
- Shinde, P. P., & Shah, S. (2018). A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications. *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2018.8697857>
- Shinohara, I. (1988). *NPS, New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries*.
- Siderska, J. (2020). Robotic Process Automation — a driver of digital transformation? *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), 21–31. <https://doi.org/doi:10.2478/emj-2020-0009>
- Silva, J. N., & Loos, M. J. (2017). Proposta de implementação da gestão à vista no auxílio à produtividade. *Espacios*, 38, 34–41.
- Sobreira, J. V. (2018). *Desafios para a manutenção na perspectiva da indústria 4.0*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Sokolov, A., Pyatnitsky, I., & Alabugin, S. (2019). Applying methods of machine learning in the task of intrusion detection based on the analysis of industrial process state and ICS networking. *FME Transactions*, 47, 782–789. <https://doi.org/10.5937/fmet1904782S>
- Stadnicka, D., Litwin, P., & Antonelli, D. (2019). Human factor in industry of the future: Knowledge acquisition and motivation. *FME Transactions*, 47, 823–830. <https://doi.org/10.5937/fmet1904823S>
- Sutherland, J. (2014). *SCRUM: A arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo*. Leya.
- Takeuchi, H., & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. *Harvard Business Review*, 64(1), 137–146.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Portfolio / Penguin.
- Tezel, A., Koskela, L., & Zortzopoulos, P. (2009). The functions of visual management. *International Research Symposium, January*, 201–219. <http://usir.salford.ac.uk/10883/>
- Tiwari, S., Wee, H. M., & Daryanto, Y. (2018). Big data analytics in supply chain management between

- 2010 and 2016: Insights to industries. *Computers and Industrial Engineering*, 115, 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.017>
- Tortorella, & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975–2987. <http://10.0.4.56/00207543.2017.1391420>
- Tortorella, Pradhan, N., Macias de Anda, E., Trevino Martinez, S., Sawhney, R., & Kumar, M. (2020). Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines. *International Journal of Production Research*, 58(16), 5020–5033. <http://10.0.4.56/00207543.2020.1743893>
- Tortorella, Rossini, M., Costa, F., Portoli Staudacher, A., & Sawhney, R. (2019). A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(11–12), 1249–1270. <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1696184>
- Tortorella, Rossini, M., Costa, F., Staudacher, A. P., & Sawhney, R. (2019). A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies. In *Total Quality Management and Business Excellence*. <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1696184>
- Tortorella, Saurin, T. A., Filho, M. G., Samson, D., & Kumar, M. (2021). Bundles of Lean Automation practices and principles and their impact on operational performance. *International Journal of Production Economics*, 235, N.PAG-N.PAG. <http://10.0.3.248/j.ijpe.2021.108106>
- Tortorella, Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I. C., Tlapa, D., & Thurer, M. (2021). Towards the proposition of a Lean Automation framework: Integrating Industry 4.0 into Lean Production. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 593–620. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2019-0032>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Bhadauria, A., Sharma, S., Li, C., Pimenov, D. Y., Giasin, K., Singh, S., & Gautam, G. D. (2021). An Agile System to Enhance Productivity through a Modified Value Stream Mapping Approach in Industry 4.0: A Novel Approach. *Sustainability*, 13(11997), 11997. <https://doi.org/10.3390/su132111997>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Singh, J., Pimenov, D. Y., & Giasin, K. (2021). An Innovative Agile Model of Smart Lean–Green Approach for Sustainability Enhancement in Industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 7(215), 215. <https://doi.org/10.3390/joitmc7040215>
- Trovati, M., Zhang, H., Ray, J., & Xu, X. (2020). An Entropy-Based Approach to Real-Time Information Extraction for Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, Industrial Informatics, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Ind. Inf.*, 16(9), 6033–6041. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2962029>
- Vachálek, J., Bartalský, L., Rovný, O., Sismisova, D., Morhac, M., & Loksik, M. (2017). *The Digital Twin of an Industrial Production Line Within the Industry 4 . 0 Concept*. 258–262. <https://doi.org/10.1109/PC.2017.7976223>
- Van Overeem, A., Witters, J., & Peristeras, V. (2007). An interoperability framework for Pan-European E-Government Services (PEGS). *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2007.68>
- Varela, L., Araujo, A., Ávila, P., Castro, H., & Putnik, G. (2019). Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *Sustainability*, 11(5), 1439. <https://doi.org/10.3390/su11051439>

- Varela, M. L., Avila, P., Castro, H., Putnik, G., Fonseca, L., & Ferreira, L. (2022). Manufacturing and Management Paradigms, Methods and Tools for Sustainable Industry 4.0-Oriented Manufacturing Systems. *Sustainability*, *14*, 1574. <https://doi.org/10.3390/su14031574>
- Velásquez, N., Estévez, E. C., & Pesado, P. M. (2018). Cloud computing, big data and the industry 4.0 reference architectures. *Journal of Computer Science & Technology*, *18*.
- Vianna, F. R. P. M., Graeml, A. R., & Peinado, J. (2020). The role of crowdsourcing in industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *33*(4), 411–427. <http://10.0.4.56/0951192X.2020.1736714>
- Vieira, G., Varela, M. L., Putnik, G., & Machado, J. (2018). Intelligent Platform for Supervision and Production Activity Control in Real Time. *Advances in Manufacturing, Springer*, 151–159.
- Villalba-Diez, J., Molina, M., Ordieres-Meré, J., Sun, S., Schmidt, D., & Wellbrock, W. (2020). Geometric Deep Lean Learning: Deep Learning in Industry 4.0 Cyber–Physical Complex Networks. *Sensors (14248220)*, *20*(3), 763. <http://10.0.13.62/s20030763>
- Villalba-Diez, J., & Zheng, X. (2020). Quantum Strategic Organizational Design: Alignment in Industry 4.0 Complex-Networked Cyber-Physical Lean Management Systems. *Sensors (14248220)*, *20*(20), 5856. <http://10.0.13.62/s20205856>
- Wadhwa, V., & Salkever, A. (2017). *The driver in the driverless car: how our technology choices will create the future*. BK Berrett-Koehler Publishers, Inc., a BK Business book.
- Wang, W., Yang, H., Zhang, Y., & Xu, J. (2018). IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *31*(4–5), 362–379.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. In *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 48). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Wilson, L. (2010). *How to implement lean manufacturing*. McGraw-Hill. <http://accessengineeringlibrary.com/browse/how-to-implement-lean-manufacturing>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation* (Elsevier, Ed.).
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1992). *The machine that changed the world: The story of Lean Production*. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=1965187&site=eds-live>
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G.-Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *26*(1), 97–107. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.109>
- Xu, L. da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.14444806>
- Xue, X., Kou, Y., Wang, S., & Liu, Z. (2018). Computational Experiment Research on the Equalization-Oriented Service Strategy in Collaborative Manufacturing. *IEEE Transactions on Services Computing, Services Computing, IEEE Transactions on, IEEE Trans. Serv. Comput.*, *11*(2), 369–383. <https://doi.org/10.1109/TSC.2016.2569082>
- Yen, C., Liu, Y., Lin, C., Kao, C., Wang, W., & Hsu, Y. (2014). Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies. *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1150–1152. <https://doi.org/10.1109/CoASE.2014.6899471>
- Závadská, Z., & Závadský, J. (2018). *Quality managers and their future expectations related to Industry 4.0: an empirical research*. *Total Quality Management and Business Excellence Journal*, *31* (7-8), 717-714.
- Zeng, P., Wang, Z., Jia, Z., Kong, L., Li, D., & Jin, X. (2019). Time-slotted software-defined Industrial Ethernet for real-time Quality of Service in Industry 4.0. *Future Generation Computer Systems*, *99*,

1–10. <http://10.0.3.248/j.future.2019.04.009>

Žužek, T., Kušar, J., Rihar, L., & Berlec, T. (2020). Agile-Concurrent hybrid: A framework for concurrent product development using Scrum. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 28(4), 255–264. <https://doi.org/10.1177/1063293X20958541>