

EFEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

ROCHELLY SIRREMES PINTO - rochellyphirremes@gmail.com
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

EDUARDO DE SENZI ZANCUL – ezancul@usp.br
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

FERNANDO TOBAL BERSANETI- fernando.berssaneti@usp.br
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

THAYLA TAVARES DE SOUSA ZOMER – thayla.zomer@usp.br
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP

ÁREA: 4. ENGENHARIA DA QUALIDADE
SUBÁREA: 4.1 – GESTÃO DE SISTEMAS DE QUALIDADE

RESUMO: O AVANÇO ACELERADO DAS NOVAS TECNOLOGIAS TEM IMPACTADO FORTEMENTE AS ORGANIZAÇÕES E A SOCIEDADE COMO UM TODO, RESULTANDO NA ERA DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL, OU O QUE SE CONHECE COMO INDÚSTRIA 4.0 NA MANUFATURA. ESSA TRANSFORMAÇÃO TEM REPERCUTIDO EM VÁRIOS CAMPOS SOCIOECONÔMICOS QUE ATRAÍRAM PESQUISADORES E PROFISSIONAIS PARA INVESTIGAR SUA INFLUÊNCIA EM SEUS DIFERENTES NÍVEIS. NA GESTÃO DA QUALIDADE, NÃO É DIFERENTE, E O IMPACTO EM SEUS SISTEMAS E PRÁTICAS TEM SIDO DISCUTIDO AMPLAMENTE NA LITERATURA. COM OS SISTEMAS DE FABRICAÇÃO INTELIGENTE, VÁRIAS MUDANÇAS AFETAM A FORMA COMO OS PRODUTOS ESTÃO SENDO FABRICADOS. A AMPLA GAMA DE TECNOLOGIAS ABRANGIDAS PERMITIU O AVANÇO DA CADEIA DE VALOR, DIMINUINDO OS LEAD TIMES GLOBAIS DE FABRICAÇÃO E MELHORANDO A QUALIDADE NAS ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO, BEM COMO DO PRODUTO FINAL. O PRESENTE ESTUDO TEM O INTUITO DE ANALISAR OS EFEITOS DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA GESTÃO DA QUALIDADE. PARA ISSO, ADOTOU-SE COMO ABORDAGEM METODOLÓGICA A REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, POR MEIO DA BIBLIOMETRIA E ANÁLISE DE CONTEÚDO, POR SEREM MÉTODOS COMPLEMENTARES. COMO RESULTADOS, FOI POSSÍVEL VERIFICAR QUE AS NOVAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PODEM SER APROVEITADAS PARA MELHORAR AS PRÁTICAS DE GESTÃO DA QUALIDADE EM DIFERENTES NÍVEIS E DE VÁRIAS MANEIRAS.

PALAVRAS-CHAVES: INDÚSTRIA 4.0; GESTÃO DA QUALIDADE; TECNOLOGIAS DIGITAIS; QUALIDADE 4.0.

1. INTRODUÇÃO

A busca por qualidade em produtos e serviços, aliada a tecnologias avançadas, está mais rigorosa. A Indústria 4.0 (I4.0) transformou a detecção de problemas de produção e qualidade, antes realizada manualmente, para sistemas inteligentes que operam em segundos. A I4.0 representa uma nova forma de fabricação, com indústrias conectadas à internet e equipadas com sensores e softwares para produzir pedidos personalizados com maior eficiência e qualidade (MACHADO *et al.*, 2018). Sensores IoT e Inteligência Artificial (IA) analisam as linhas de produção, melhorando a gestão e a qualidade dos produtos. Chouchene *et al.* (2020) destacam que a I4.0 se concentra em interconectividade, automação, dados em tempo real e aprendizado de máquina. A integração de sistemas de manufatura com tecnologias inteligentes resulta na "Manufatura Inteligente", baseada em IoT e Sistemas Físicos Cibernéticos (CPS). A análise de dados é essencial para traduzir as informações geradas em insights úteis para a tomada de decisão.

Os sistemas tradicionais de qualidade, como o TQM, evoluíram para a Qualidade 4.0 (Q4.0), que alinha as práticas de gestão da qualidade com os recursos da I4.0 para alcançar a excelência. Segundo a ASQ (2020), "Qualidade 4.0 é um termo que faz referência ao futuro da qualidade e excelência organizacional no contexto da Indústria 4.0". Este trabalho analisa a literatura sobre gestão da qualidade e I4.0, buscando responder: Qual é o efeito da I4.0 na gestão da qualidade? Como a I4.0 pode reduzir o tempo de tomada de decisões? Quais indicadores são utilizados para mensuração dos resultados? Discute-se, assim, os principais efeitos da I4.0 na gestão da qualidade.

O trabalho está estruturado em cinco seções: após essa introdução, a próxima seção aborda conceitos teóricos básicos; a terceira seção descreve os métodos de pesquisa; a quarta seção apresenta os resultados da análise bibliométrica e discute os resultados e por fim a quinta seção apresenta as conclusões.

2. BACKGROUND TEÓRICO

2.1. Indústria 4.0

A transição para a Indústria 4.0 é viabilizada pelo desenvolvimento tecnológico e pela redução de custos, permitindo produtos personalizados e mais complexos. Conhecida como a quarta revolução industrial, envolve tecnologias como inteligência artificial, *cyber physical systems*, internet das coisas, *big data*, *cloud computing*, gêmeo digital, realidade aumentada e

virtual, entre outras, tornando a gestão de processos mais rápida e complexa (MAGRUK *et al.*, 2016).

Essas tecnologias impactam positivamente a gestão de fábricas, modelos de negócios, produtos e serviços. Enquanto a automação digital e sensores influenciam os processos de fabricação (KOLBERG *et al.*, 2017), big data e serviços em nuvem melhoram o desenvolvimento de produtos e inovação de serviços (ZÜHLKE, 2010; WAN *et al.*, 2015). A nova abordagem da Indústria 4.0 visa melhorar a eficiência da produção e as condições de trabalho através de instrumentos digitais inovadores.

No entanto, os custos de implantação dessas tecnologias representam um desafio econômico e estratégico, e análises quantitativas claras são necessárias para promover essa evolução (SITEK *et al.*, 2020).

2.2. Gestão da qualidade e Qualidade 4.0

A qualidade pode ser definida como um conjunto de propriedades e características de um produto, processo ou serviço que satisfaz as necessidades dos clientes. Este conceito tem evoluído ao longo do tempo, incorporando novas tendências e tecnologias de mercado. Uma mudança significativa é a transição da produção em massa para a customização em massa, resultando em lotes menores e maior necessidade de flexibilidade e adaptabilidade na produção (SONY *et al.*, 2020).

Essas mudanças impulsionadas pela Indústria 4.0 deram origem à Qualidade 4.0, um conceito novo que alinha a gestão da qualidade com as tecnologias emergentes para melhorar eficiência, inovação e desempenho nas empresas. Sony *et al.* (2020) definem a Qualidade 4.0 como a digitalização da gestão da qualidade, abrangendo tecnologia, processos e pessoas. Ramezani e Jassbi (2020) veem a definição como uma extensão da Indústria 4.0, focada em melhorar a qualidade por meio de soluções e algoritmos inteligentes. Todas as definições destacam a importância das novas tecnologias e seu valor agregado.

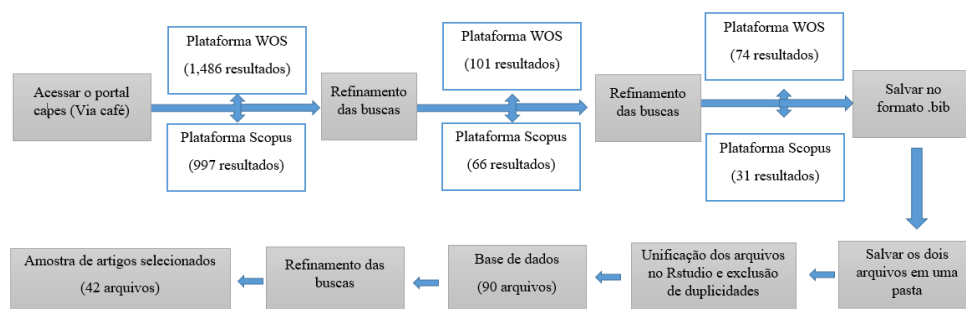
3. MÉTODOS

O artigo pode ser considerado do tipo teórico conceitual por ter como foco a realização de uma pesquisa de revisão bibliográfica sistemática, seguida de análise estruturada dos conteúdos publicados sobre o tema. A abordagem metodológica adotada foi a bibliometria, pois permite a análise da atividade científica, produtividade dos autores e a análise de citações, além de identificar as temáticas mais relevantes e as lacunas presentes na literatura.

3.1. Coleta de dados

O processo de coleta de dados para a elaboração do trabalho se deu com base nas etapas mostradas na Figura 1. Os dados das amostras foram obtidos junto as bases científicas Web of Science (WOS) e Scopus. A escolha por essas bases se deu pela compatibilidade dos dados extraídos com os softwares software de análise bibliométrica, possibilitando uma análise mais abrangente (CARVALHO *et al.*, 2013).

FIGURA 1 –Etapas da coleta de dados.



Fonte: elaborado pelos autores.

Inicialmente, delimitou-se a área central do estudo e formularam-se os objetivos principais. Definiram-se palavras-chaves para orientar a busca por publicações, usando as strings "quality management" e "industry 4.0". Obteve-se um total de 1486 resultados na Web of Science e 997 no Scopus. Devido ao grande número de resultados, a busca foi refinada com a string "indicators", resultando em 101 resultados na Web of Science e 66 no Scopus.

Refinou-se a busca para incluir apenas artigos, artigos de revisão e acesso antecipado, resultando em 74 resultados na Web of Science e 31 no Scopus. Os metadados foram exportados em formato Bibtex e unificados no RStudio, totalizando 90 trabalhos após a remoção de duplicatas. Realizou-se um novo refinamento com base na análise de título, resumo e palavras-chave, excluindo artigos não relacionados à qualidade e indústria 4.0. A triagem final resultou em 42 publicações.

3.2. Análise dos dados

A análise dos dados se baseou na amostra composta pelas 42 publicações. Essa etapa abordou uma série de análises estatísticas. O método utilizado foi a bibliometria, por meio do Bibliometrix. O Bibliometrix é uma ferramenta de software que facilita a análise bibliométrica e científica, auxiliando na visualização e interpretação de informações bibliográficas. É amplamente utilizado para avaliar a produtividade científica e identificar

tendências de pesquisa em diversas áreas do conhecimento. Essa análise permite verificar a evolução do tema ao longo do tempo, apontando as principais publicações, assim como outros aspectos importantes como: a distribuição de publicações por ano e a evolução ao longo do tempo; a quantidade de artigos por autores, identificando os autores que mais discutem tal temática; o número de artigos por periódico, apontando os principais periódicos da área, além dos países ou regiões que mais publicam sobre o tema.

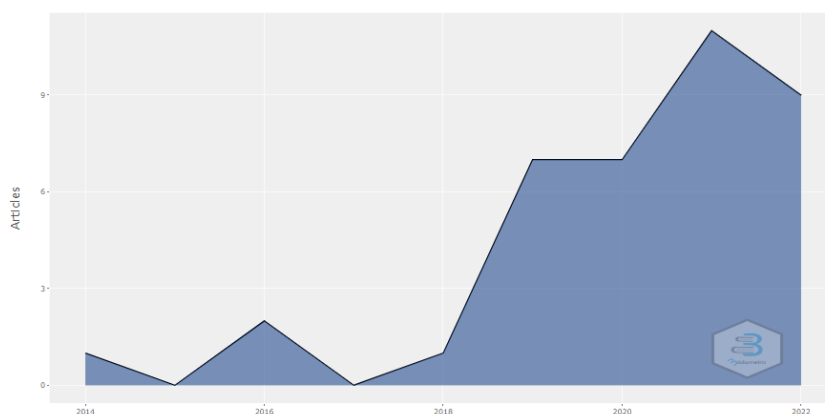
Sobre a amostra selecionada realizou-se ainda a análise de redes. As redes utilizadas para a análise do relacionamento entre os artigos selecionados foram as redes de palavras-chave, que permite identificar os temas mais associados a temática do trabalho. A análise de redes possibilita a formação de clusters que permite o agrupamento de autores e temáticas.

Por fim, foi realizada a análise de conteúdo. O objetivo dessa análise é descrever o conteúdo das publicações, de forma quantitativa ou qualitativa, permitindo a inferência de conhecimentos sobre as condições de produção. Essa etapa teve como objetivo responder as três questões de pesquisa formuladas previamente. A seleção dos artigos para essa análise foi feita tendo como critério de escolha os dez artigos mais citados e os dez artigos mais recentes, representando cerca de 48% da amostra coletada.

4. RESULTADOS

A amostra contou com um total de 42 artigos que foram analisados com base no uso do Bibliometrix. Com relação ao quantitativo de publicações ao longo do ano, a Figura 2, ilustra essa evolução, bem como faz um levantamento do quantitativo de documentos publicados em cada ano. Percebe-se que a partir do ano de 2018 houve um aumento na quantidade de publicações acerca do tema, isso mostra o grau de novidade e também o maior enfoque que ele vem recebendo na literatura.

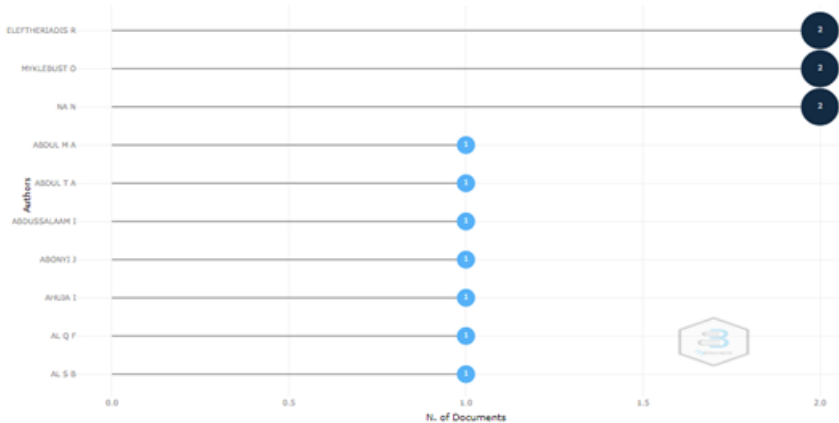
FIGURA 1 - Número de publicações ao longo do tempo.



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 3 mostra a produtividade dos autores. Com base nela, é possível identificar os autores com maior produtividade acerca dos temas. Três autores ocupam esse patamar, apresentando 2 publicações cada um.

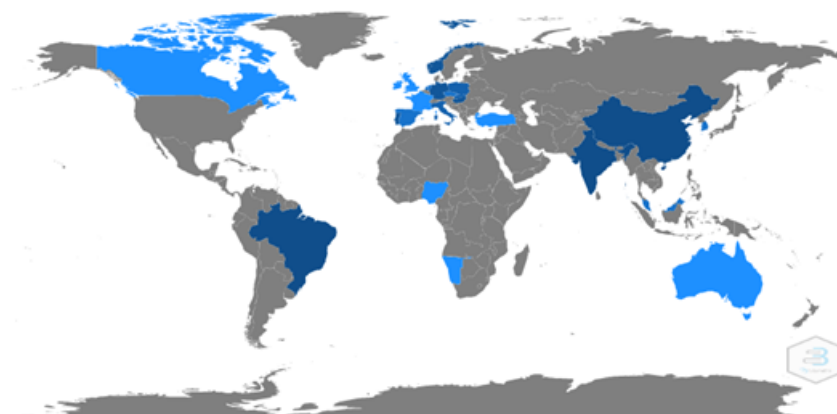
FIGURA 3 – Publicações por autor.



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 4 ilustra os principais países de origem das publicações. Nesse sentido, destacam-se três regiões principais, respectivamente: Brasil, China e Índia com 5 trabalhos originários de cada país.

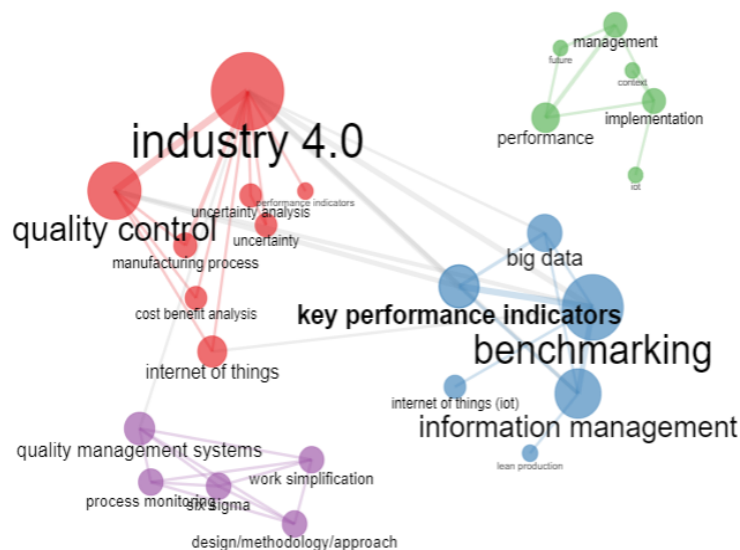
FIGURA 4 - Principais países de origem das publicações.



Fonte: elaborado pelos autores.

Na figura 5, está representada a rede de palavras-chaves. A rede mostra a formação de quatro clusters.

FIGURA 5 - Rede de coocorrência



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Tabela 1, estão detalhados os grupos de palavras-chaves vinculadas ao tema central. Esse quadro tem como base a rede de coocorrência e os clusters nela identificados. O primeiro cluster traz como tema central a Indústria 4.0, dentro dele são abordados temas importantes como: controle da qualidade, processo de manufatura, internet das coisas, análise do custo-benefício e indicadores. Esse primeiro cluster se relaciona com o segundo através da perspectiva de indicadores, gestão da informação, big data e indicadores-chave. Já o segundo cluster (azul), se relaciona com o terceiro (verde) pela gestão de performance ou desempenho.

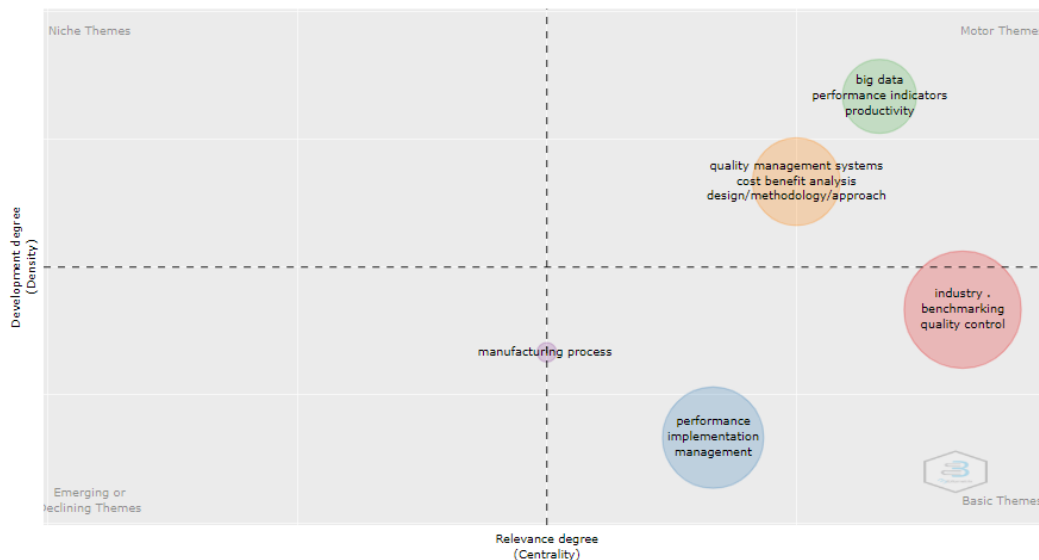
TABELA 1 – Clusters

| Cluster | Tema principal | Palavras-chaves relacionadas |
|----------|---------------------------------|---|
| Vermelho | Indústria 4.0 | Quality control; manufacturing process; uncertainty; cost benefit analysis; internet of things; uncertainty analysis. Performance indicators |
| Azul | Benchmarking | Key performance indicators; big data; information management; internet of things; lean production |
| Verde | Performance | Management; implementation; future; context; |
| Roxo | Sistemas de gestão da qualidade | Processo monitoring; six sigma; work simplification; design/methodology/approach |

Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, têm-se o último cluster (roxo), com temas relacionados aos sistemas de gestão da qualidade, que se relaciona diretamente com o primeiro cluster e por ele é afetado. As principais temáticas acerca dos temas de pesquisa foram mapeadas através de uma análise em que os temas são acoplados formando clusters segmentados por tema. A Figura 6 ilustra esse acoplamento temático.

FIGURA 6 – Mapa de centralidade de temas



Fonte: elaborado pelos autores.

Como temas motores, podem-se citar os relacionados aos sistemas de gestão da qualidade e aqueles que tratam dos indicadores de desempenho. Esses temas são considerados a base da literatura nesse campo de pesquisa e, por isso, geralmente são aqueles bem mais discutidos e maturados. Não foram identificados temas de nicho e nem emergentes. Apenas o tema processos de manufatura que se situou no limite de centralidade entre os temas em declínio e os temas básicos. Com relação aos temas básicos, são aqueles considerados de grande importância para o tema da pesquisa. Nesse patamar estão Indústria 4.0 e performance, ambos apresentam alta densidade, uma grande força de forma interna. No entanto, tem baixa centralidade, isso significa que o campo de pesquisa não interage muito com outras redes de pesquisa.

4.1 Qualidade e gestão na Indústria 4.0

Os artigos selecionados foram analisados quanto ao efeito da Indústria 4.0 na gestão da qualidade. Para isso, o estudo voltou-se a responder as três questões de pesquisa mencionadas anteriormente, com base no conteúdo dos artigos analisados.

A última década testemunhou o nascimento de avanços tecnológicos como IoT, inteligência artificial, aprendizado de máquina e realidade aumentada. Essas tecnologias impulsionaram a transição para a Indústria 4.0, permitindo a digitalização da fabricação com potencial de ganho. Esse contexto, deu origem a vários novos conceitos híbridos, bem como várias operações de gerenciamento tendo em vista o aumento da eficiência através do uso de novas tecnologias. De acordo Rifqi *et al.* (2021), a Indústria 4.0 representa uma transformação na forma como as empresas fabricam e desenvolvem seus produtos, sendo está uma oportunidade de inovação e garantia de qualidade, de modo a atender as crescentes demandas de tecnologias seja por parte dos clientes ou da própria concorrência. Os aspectos de integração da Indústria 4.0, expectativas crescentes dos clientes, concorrência global e a crescente complexidade do produto são razões pelas quais a gestão da qualidade tornou-se indispensável em empresas e qualidade tornou-se, atualmente, parte integrante de metas, estratégias e políticas corporativas.

Com a ascensão da Indústria 4.0, o conceito de qualidade 4.0 passou a ser difundido, tanto na literatura quanto nas organizações, embora seja um conceito datado de mais de 20 anos atrás, previsto por Watson (1998). De acordo Sisodia e Forero (2020), a Indústria 4.0 também habilitou a transformação da qualidade para uma qualidade preditiva, que consiste em prever de forma precisa as condições e o resultado do produto logo no início. Essa perspectiva evidencia ainda mais o conceito de qualidade 4.0. Para Ramezani e Jassbi (2020), a qualidade 4.0 é uma nova revolução de qualidade, mas que, no entanto, não vai substituir seus métodos tradicionais, mas sim aperfeiçoá-los e desenvolvê-los através do aumento da capacidade de conectividade e acesso digital. Os autores tem considerado a qualidade 4.0 como sendo a digitalização da Gestão da Qualidade Total, o TQM, bem como seus impactos sobre a qualidade, tecnologias, processos e pessoas. Esse novo conceito é tem sido visto como integrado ao TQM e seus princípios, em que a integração, interconectividade e big data podem melhorar a implementação da gestão da qualidade.

O termo qualidade 4.0 inclui não só a combinação de TQM e Indústria 4.0, como também vários outros benefícios bastante relacionados com a qualidade. Em seu estudo, Nenadal (2020) revelou um conjunto de características relacionadas ao novo conceito

qualidade 4.0 em que encontramos que: i) qualidade 4.0 é um termo geral que descreve uma nova abordagem para gerenciar toda a qualidade; ii) é um termo geral que descreve uma nova abordagem para o gerenciamento dos requisitos da qualidade por meio de dados; iii) inclui cinco áreas principais: desenvolvimento, design, produção, serviços e cultura corporativa; iv) combina os métodos e ferramentas de gestão da qualidade com as novas tecnologias da Indústria 4.0. A conversão da gestão da qualidade para a Qualidade 4.0 permitirá o acompanhamento inteligente e diagnóstico em tempo real. Dessa forma, os profissionais da qualidade serão mais capazes de ter respostas e soluções em termos de robustez do produto, excelência de processo, satisfação do cliente, novos produtos e riscos de desenvolvimento.

4.2 Como a Indústria 4.0 pode reduzir o tempo de tomada de decisões dentro dos processos?

Existem oportunidades promissoras para a gestão da qualidade. Isso fornece uma integração perfeita dos vários processos de produção que disponibiliza novos tipos de dados e métricas em tempo real, oferecendo a chance de identificar causas relacionadas à qualidade e ajustar os processos em tempo real. Essa afirmativa é confirmada por vários estudos propostos na literatura.

Nesse contexto, Gray-Hawkins *et al.*, (2019) apresentaram um estudo empírico, com dados coletados da Accenture, Capgemini, McKinsey, entre outros, para avaliar o monitoramento de processos em tempo real. Os autores afirmaram que, devido à inteligência e automação trazidas por tecnologias como IoT e CPS, pode ser oferecida maior capacidade de ajuste, o que melhora a qualidade dos produtos facilitada pelo monitoramento de processos superior e em tempo real em sistemas de fabricação I4.0.

Já o estudo de Nguyen e Melkote (2020) discutiu os recentes avanços no monitoramento e controle de processos, bem como futuras oportunidades de pesquisa no contexto da I4.0. Esse estudo propôs uma estrutura holística para monitoramento e controle de processos, em que o controle de processo em nível macro é realizado na nuvem e o controle de processo em nível de dispositivo é realizado na borda. Isso foi ilustrado pela apresentação de um estudo de caso de aumento da vida útil da ferramenta com base nessa estrutura, resultando em uma melhoria de 60% na vida útil da ferramenta.

Vafiadis e Taefi (2019) discutiram o papel das tecnologias blockchain e de contabilidade distribuída na melhoria da qualidade do processo em I4.0 e confirmaram que a tecnologia blockchain pode melhorar a qualidade do processo, especialmente para os processos que precisam ser executados além das fronteiras das empresas e exigem confiança

entre diferentes partes. O processamento de transações em tempo real e a abordagem descentralizada que ignora os intermediários, o que aumenta a eficiência e melhora a qualidade da cadeia de suprimentos, são os principais facilitadores dessa abordagem.

Krauß *et al.* (2020) estudaram Machine Learning (ML) automatizado para qualidade preditiva na produção e o compararam a uma implementação manual em um caso de uso de qualidade preditiva. Para os casos em que a cadeia de processo leva vários dias, é muito útil prever, em um estágio inicial, se o produto final atenderá às especificações. Essa previsão antecipada de falha de máquina ou produtos defeituosos permite a correção adequada por meio de análises instantâneas de causa raiz e recomendações que aprimoram a capacidade de antecipar vários riscos além de antecipar a tomada de decisão a níveis específicos do processo.

Já Miladin *et al.* (2019) se propuseram a pesquisar como a implementação de soluções em nuvem baseadas na web pode apoiar a melhoria da gestão da qualidade e argumentaram que novas tendências, como big data e análise, melhoram a tomada de decisões e o uso da nuvem para armazenar esses dados melhora o controle de qualidade e o gerenciamento.

Ramezani e Jassbi (2020) propuseram um modelo híbrido baseado em uma rede neural e sistema especialista para lidar com padrões de gráficos de controle e ações corretivas recomendadas. A abordagem foi ilustrada usando uma empresa produtora de gesso de construção. Os autores argumentaram que o impacto da I4.0 na fabricação não se refere apenas à utilização da tecnologia que torna os processos de produção flexíveis, inteligentes, econômicos e resilientes, mas também inclui inteligência artificial para melhorar a qualidade na era da fabricação inteligente.

O trabalho de Sony *et al.* (2020) analisou os principais aspectos para a implementação eficaz da Q4.0 e enfatizou o benefício de usar algoritmos de análise prescritiva. Tal utilização é importante devido à grande quantidade de opções de soluções com análise de cenários que podem ser facilitadas utilizando a Q4.0 para determinar a melhor solução ou resultado. A análise prescritiva forma um tipo de sistema de suporte à decisão que fornece recomendações para qualidade de design, qualidade de conformidade e qualidade de desempenho, o que facilita a decisão, além de deixá-la mais rápida.

4.3 Quais indicadores são utilizados dentro dos processos para medir os resultados e, conseqüentemente, o efeito da I4.0 na gestão da qualidade?

Um dos grandes desafios da era digital está relacionado à disponibilidade de grandes quantidades de dados. Com a Internet das Coisas, sensores e dados, os dados estão cada vez

mais disponíveis. Portanto, essa revolução traz diversas mudanças na organização, nas práticas e na gestão do trabalho. Em particular, os sistemas de gerenciamento de desempenho devem ser reexaminados para enfrentar esses novos desafios da Indústria 4.0. De acordo com Melnyk *et al.* (2014), para melhorar o desempenho e garantir a gestão eficaz e eficiente de qualquer negócio, são utilizados sistemas de medição e gestão de desempenho. Corroborando, Bititci *et al.* (2015) acrescentam que a gestão de desempenho evoluiu da medição de desempenho para a gestão de desempenho.

A medição de desempenho envolve atividades como estabelecer metas, desenvolver métricas, coletar, analisar e relatar informações de desempenho e interpretar lacunas de desempenho (SMITH; BITITCI, 2017). Os sistemas de medição de desempenho consistem em um conjunto de expressões de desempenho que devem ser organizadas de forma coerente com os objetivos da empresa. Por serem numerosos, é necessário reduzir a dimensionalidade dessas medidas de desempenho.

Sanchez *et al.* (2022) apresentaram um estudo de caso focado na indústria de panificação europeia, em que uma plataforma de sensoriamento é empregada para aumentar a eficiência do processo de produção e o bem-estar dos trabalhadores. Variáveis como temperatura, umidade, consumo de energia e qualidade do ar são monitoradas através de sensores. É gerado um quadro de indicadores de desempenho e econômicos, e verificada a evolução após a adoção da Indústria 4.0. Os resultados mostram as vantagens dessas novas soluções de forma objetiva. Os resultados evidenciaram a redução no consumo (cerca de 5%) e o tempo de reação da infraestrutura de abastecimento diminuiu cerca de 90%. Graças aos dispositivos e sensores, vazamentos de gás e problemas semelhantes podem ser detectados rapidamente. Além da precisão e controle da qualidade, essa medida reduz desperdícios de materiais e recursos humanos. A disponibilidade também aumentou (cerca de 15%), enquanto que a manutenção e os custos não tiveram aumento. Houve um aumento significativo da eficiência produtiva.

Os autores Singh *et al.* (2022) utilizaram o conceito de Qualidade 4.0 (Q4.0) para digitalizar o tradicional Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e demonstrar a eficiência do Sistema Autônomo de Gestão da Qualidade (AQMS) através de um estudo de caso. A Internet das Coisas foi usada para desenvolver o AQMS. A Q4.0 foi empregada para digitalizar o sistema desenvolvido. A repetibilidade e a reprodutibilidade de sistemas SGQ tradicionais e autônomos foram avaliadas usando indicadores de qualidade seis sigma, bem como análise de custos de usinagem e inspeção. Como resultados, a implantação efetiva do AQMS reduziu os custos de produção e inspeção em 52,2% e 78,4%. O rendimento do processo AQMS

aumentou de 86,8% para 99,99% e a taxa de rejeição de componentes diminuiu em 93,7%. O processo de usinagem melhorou significativamente à medida que o nível sigma aumentou de 1,5 para 5,5.

Łukasik e Stachowiak (2020) analisaram e avaliaram a gestão da fabricação inteligente, utilizando tecnologias da Indústria 4.0. As soluções tecnológicas atuais permitem uma significativa robotização e automatização do processamento com um aumento da autonomia do processo produtivo. Os resultados demonstraram um aumento de 400% na produtividade, com um aumento no desempenho da produção de 70.000 peças por ano para 400.000 peças fabricadas atualmente. Em relação à quantidade de resíduos gerados, ascendia a cerca de 15% da produção, mas os defeitos foram reduzidos para 3%. A redução de resíduos consistiu em minimizar a quantidade de unidades defeituosas de 60.000 para 12.000. O tempo de ciclo foi reduzido de 3,2 s para 1,9 s.

Souifi *et al.* (2022) propuseram um método para representar o grau de confiança que um usuário pode associar a dados estatísticos ou conhecimento especializado a um indicador, no contexto da Indústria 4.0. O indicador analisado foi o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). O método permite quantificar incertezas por um escalar associado a cada dado elementar e propagá-las aos indicadores-chave de desempenho (KPIs). Além disso, foi desenvolvido um método para calcular a incerteza de um novo vetor de observações a partir de dados históricos e foram propostas regras de decisão no caso de medidas de desempenho incertas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica sistemática sobre a Indústria 4.0 e a gestão da qualidade, analisando as principais publicações e o panorama da produção científica no tema. Utilizou-se a bibliometria para analisar a evolução do tema ao longo do tempo, identificando as principais publicações para melhor caracterizá-las e entendê-las. Constatou-se que esses temas são de grande importância para as organizações, principalmente quanto à rapidez e melhoria dos processos. Os resultados indicam um crescimento acentuado da literatura sobre o tema, especialmente nos últimos anos. Embora ainda não haja uma estrutura conceitual formalizada, as publicações mostram indícios da construção de uma base que relacione os dois construtos (Indústria 4.0 e a gestão da qualidade).

Os resultados mostraram que as novas tecnologias da Indústria 4.0 podem melhorar as práticas de gestão da qualidade em diferentes níveis e maneiras. O campo da qualidade pode se beneficiar significativamente dessa mudança de paradigma, especialmente na tomada de

decisão em tempo real e na melhoria de vários aspectos do processo. Essas melhorias foram evidenciadas por diferentes estudos que implementaram indicadores para validar teorias e mensurar resultados de forma significativa.

Por fim, as limitações do estudo incluem a subjetividade das análises e o pequeno número de artigos selecionados. Recomenda-se a expansão da amostra para abordar outros temas identificados na análise de redes, mas não discutidos na análise de conteúdo. Sugere-se pesquisas futuras sobre tecnologias para gestão da qualidade, gestão de desempenho com uso de tecnologia, e sistemas de monitoramento para controle da qualidade.

REFERENCIAS

- ASQ. Quality 4.0. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/quality-4-0>. Acesso em: 24 maio 2022.
- BITITCI, U. M. et al. Value of maturity models in performance measurement. *International Journal of Production Research*, v. 53, n. 10, p. 3062-3085, 2015.
- CHOUCHENE, A.; CARVALHO, A.; LIMA, T. M.; CHARRUA-SANTOS, F.; OSORIO, G. J.; BARHOUMI, W. Artificial intelligence for product quality inspection toward smart industries: quality control of vehicle non-conformities. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND MANAGEMENT*, 9., 2020, Oxford. *Proceedings...* Oxford: IEEE, 2020. p. 127-131.
- GRAY-HAWKINS, M.; MICHALKOVA, L.; SULER, P.; ZHURAVLEVA, N. A. Real-time process monitoring in industry 4.0 manufacturing systems: sensing, smart, and sustainable technologies. *Economics, Management and Financial Markets*, v. 14, n. 4, p. 30-36, 2019.
- KRAUß, J.; PACHECO, B. M.; ZANG, H. M.; SCHMITT, R. H. Automated machine learning for predictive quality in production. *Procedia CIRP*, v. 93, p. 443-448, 2020.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D. Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. *IFAC-PapersOnLine*, v. 48, n. 3, p. 1870-1875, 2015.
- ŁUKASIK, K.; STACHOWIAK, T. Intelligent management in the age of industry 4.0 – an example of a polymer processing company. *Management and Production Engineering Review*, v. 11, n. 2, p. 38-49, 2020.
- MELNYK, S. A. et al. Is performance measurement and management fit for the future? *Management Accounting Research*, v. 25, n. 2, p. 173-186, 2014.
- MILADIN, S.; ALEKSANDAR, Đ.; HRVOJE, P. K.; MILOŠ, P. Web based cloud solution for support of quality management 4.0 in the concept of industry 4.0. *Proceedings on Engineering Sciences*, v. 1, p. 443-448, 2019.

- NENADÁL, J. The new EFQM model: What is really new and could be considered as a suitable tool with respect to Quality 4.0 concept? QIP Journal, v. 24, n. 1, p. 17, 2020.
- NGUYEN, V.; MELKOTE, S. N. Manufacturing process monitoring and control in industry 4.0. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE INDUSTRY 4.0 MODEL FOR ADVANCED MANUFACTURING: AMP 2020, 5., 2020, Cham. Proceedings... Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 144-155.
- RAMEZANI, J.; JASSBI, J. Quality 4.0 in action: smart hybrid fault diagnosis system in plaster production. Processes, v. 8, n. 6, p. 634, 2020. DOI: 10.3390/pr8060634.
- RIFQI, H.; ZAMMA, A.; SOUDA, B.; HANSALI, M. Positive effect of industry 4.0 on quality and operations management. International Journal of Online and Biomedical Engineering, v. 17, p. 133-147, 2021.
- SÁNCHEZ, B.; BORJA, A.; ALCARRIA, R.; TORRE, G.; CARRETERO, I.; ROBLES, T. Increasing the efficiency and workers wellbeing in the European bakery industry: an industry 4.0 case study. In: PROCEEDINGS OF THE 2022 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS, 9., 2022, Oxford. Proceedings... Oxford: IEEE, 2022.
- SADER, S.; HUSTI, I.; DARÓCZI, M. Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. Periodica Polytechnica Social and Management Sciences, v. 27, n. 2, p. 131-140, 2019.
- SADER, S.; HUSTI, I.; DARÓCZI, M. Quality management practices in the era of industry 4.0. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej Zarządzanie, v. 35, n. 1, p. 117-126, 2019.
- SINGH, J.; AHUJA, I. P. S.; SINGH, H.; SINGH, A. Development and Implementation of Autonomous Quality Management System (AQMS) in an Automotive Manufacturing using Quality 4.0 Concept– A Case Study. Computers & Industrial Engineering, v. 168, p. 108121, 2022.
- SISODIA, R.; FORERO, D. V. Quality 4.0 – How to handle quality in the industry 4.0 revolution. Manufacturing Technology, v. 107, n. 5-6, p. 2927-2936, 2020.
- SMITH, M.; BITITCI, U. Interplay between performance measurement and management, employee engagement and performance. International Journal of Operations & Production Management, 2017. DOI: 10.1108/IJOPM-06-2015-0313.
- SONY, M.; ANTONY, J.; DOUGLAS, J. A. Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. The TQM Journal, v. 32, n. 4, p. 779-793, 2020. DOI: 10.1108/TQM-12-2019-0275.

SOUFI, A.; BOULANGER, Z. C.; ZOLGHADRI, M.; BARKALLAH, H.; HADDAR, M. Uncertainty of key performance indicators for Industry 4.0: A methodology based on the theory of belief functions. *Computers in Industry*, v. 140, 2022. DOI: 10.1016/j.compind.2022.103666.

VAFIADIS, N. V.; TAEFI, T. T. Differentiating blockchain technology to optimize the processes quality in industry 4.0. In: *WORLD FORUM ON INTERNET OF THINGS*, 5., 2019, Limerick. Proceedings... Limerick: IEEE, 2019. p. 864-869.

WAN, H. D.; CHEN, F. F. A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 23, p. 6567-6584, 2015.

ZÜEHLKE, D. Smart factory - towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, v. 34, n. 1, p. 129-138, 2010.