



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

Big Data e produção sustentável: uma revisão sistemática da literatura

Ludimila Aparecida Ferreira

Engenharia de Produção e Qualidade - UNIFEG

Daniele dos Reis Pereira Maia

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção - UFSCAR

Thaís Moreira Tavares

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – UFSCAR

Fernanda Campos Bueno

Engenharia de Produção e Qualidade – UNIFEG

Maria Luiza Silva Abdalla

Engenharia de Produção e Qualidade - UNIFEG

Resumo: A digitalização impulsionada por tecnologias da Indústria 4.0 como Sistemas Ciber-Físicos, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Realidade Aumentada e Robótica, tem transformando a forma como as organizações produzem seus produtos. Essas tecnologias permitem o acesso e o processamento de uma grande de dados, conhecidos como *Big Data*. Seus recursos vão além de ferramentas de *softwares* tradicionais, permitindo o processamento em Data Centers para análises de maior complexidade. Estudos indicam que as organizações utilizam a *Big Data* para promover modelos de produção mais sustentáveis. Entretanto, essa relação ainda é pouco explorada, destacando a necessidade de mais pesquisas nesse campo teórico. Este artigo investigou o uso do *Big Data* relacionado à produção sustentável, explorando possíveis integrações. A análise foi conduzida com um total de 29 documentos provenientes de revistas acadêmicas das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. As conclusões e implicações acadêmicas e gerenciais são discutidas no final desse artigo.

Palavras-chave: *Big Data*, produção sustentável, revisão sistemática da literatura.

Big Data and sustainable production: a systematic literature review

Abstract: Digitalization driven by Industry 4.0 technologies such as Cyber-Physical Systems, Internet of Things, Cloud Computing, Artificial Intelligence, Augmented Reality and Robotics, has transformed the way organizations produce their products. These technologies allow access and processing of a large amount of data, known as *Big Data*. Its resources go beyond traditional software tools, allowing processing in Data Centers for more complex analyses. Studies indicate that organizations use *Big Data* to promote more sustainable production models. However, this relationship is still little explored, highlighting the need for more research in this theoretical field. This article investigated the use of *Big Data* related to sustainable production, exploring possible integrations. The analysis was conducted with a total of 29 documents from academic journals in the

Web of Science and Scopus databases. Academic and managerial conclusions and implications are discussed at the end of this article.

Keywords: *Big Data*, sustainable production, systematic literature review.

1. Introdução

Atualmente a digitalização por meio da combinação de diferentes tecnologias tem possibilitado potencializar a criação produtos, serviços e modelos de negócios (RACHINGER *et al.*, 2018). Diversas organizações têm recorrido às tecnologias como Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT), Sensores, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Realidade Aumentada e Robótica (YADAV; SHANKAR; SINGH, 2021).

Essas tecnologias permitem o acesso a grandes conjuntos de dados “*Big Data*” (BD) que possibilitam conter diferentes tipos de dados para diversos processos (KOPPEL; CHANG, 2021). *Big Data* são compostos por diferentes formatos, dados estruturados, não estruturados, semiestruturados e algoritmos avançados (OUSSOUS *et al.*, 2018). Definido por sete critérios classificados como 7Vs: Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade, Valor, Variabilidade e Visualização (FAROUKHI *et al.*, 2020).

Seus recursos estão além das ferramentas típicas de *softwares* existentes, os dados são transmitidos a centenas de *data centers* que verificam, registram, armazenam e analisam continuamente funções complexas (FAROUKHI *et al.*, 2020). Ferramentas analíticas avançadas em análises preditivas e prescritivas permitem tirar proveito de centenas de informações e obter *insights* profundos para avançar na inteligência dos negócios (CHEN; CHIANG; STOREY, 2012; CHANDRA; VERMA, 2023).

No contexto da produção sustentável, *Big Data* poderia representar oportunidade para a produção de produtos mais sustentáveis e incentivo as práticas responsáveis de consumo por parte dos indivíduos. O estudo realizado por Chandra e Verma (2023) sugere que as organizações adotem o uso de *Big Data* para criar experiências de consumo conscientes, como orientações de padrões de compra do consumidor, projetos e modelos de negócios com incentivos sustentáveis. Além disso, Azzahro *et al.* (2022) destaca que os avanços tecnológicos possibilitam ações inteligentes do ponto de vista da produção, demonstrando o potencial de produção mais sustentáveis. Apesar de haver uma tentativa recente de compreender o papel das tecnologias nas práticas de produção sustentável, como evidenciado no estudo de Azzahro *et al.* (2022), a investigação sobre essas relações ainda é limitada. Portanto, é necessário aprofundar o entendimento sobre como essas abordagens estão relacionadas. Considerando possíveis evidências do uso *Big Data* para a produção sustentável, o principal objetivo do estudo, é explorar a relação entre a tecnologia *Big Data* e a produção sustentável.

Para alcançar o objetivo do estudo, o artigo segue uma estrutura com 5 seções. A primeira introduz o estudo, a segunda descreve o método de pesquisa utilizado, a terceira detalha o processo de Revisão Sistemática da Literatura. A quarta seção apresenta os resultados, a análise foi dividida por duas etapas distintas. Inicialmente, apresentou-se uma análise quantitativa para examinar as principais características e origens dos documentos. Em seguida, foi realizada a análise qualitativa do conteúdo dos artigos. E por fim, a quinta seção compreende as conclusões do estudo e suas implicações tanto acadêmicas quanto gerenciais.

2. Método de pesquisa

A pesquisa neste estudo é classificada como exploratória em termos de seu objetivo, pois pretende fornecer uma compreensão sobre o assunto para torná-lo mais evidente e

explícito. E quanto ao seu procedimento técnico, é classificado como Revisão Sistemática da Literatura.

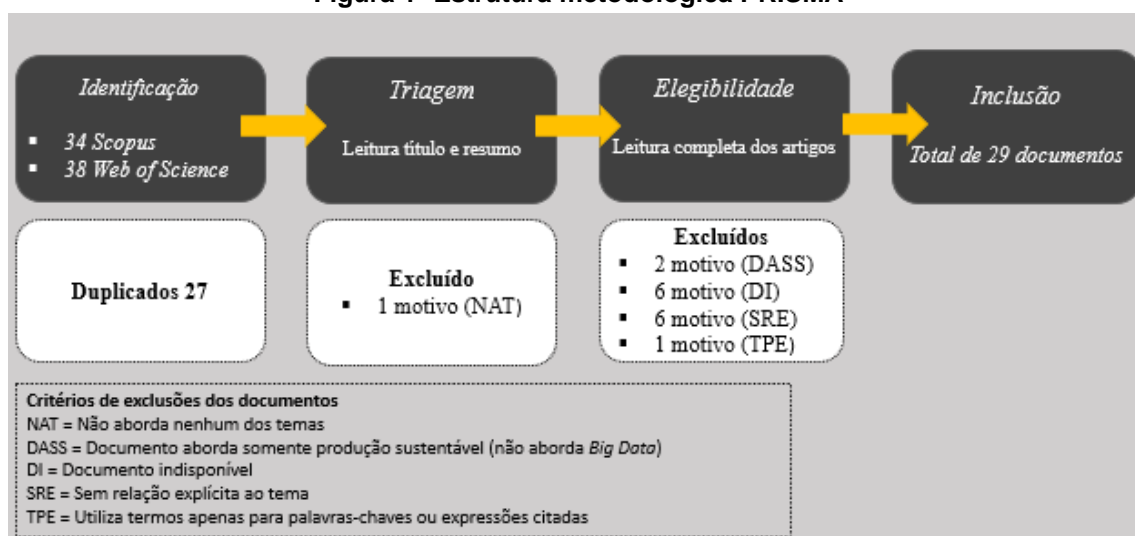
A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é uma abordagem de pesquisa especializada que tem como objetivo reunir e analisar de forma sistemática as evidências disponíveis sobre um tema específico (BIOLCHINI *et al.*, 2005; PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018). De acordo com os autores, é amplamente reconhecida por sua metodologia rigorosa, metódicas, explícitas e passíveis de reprodução. O método visa fornecer uma base sólida para a análise e síntese dos resultados encontrados, um esquema confiável e imparcial de investigação sobre o tema em questão (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018).

O processo de desenvolvimento da RSL segue um conjunto de etapas bem definidas, que incluem a definição de métodos e estratégias de busca para identificar a literatura mais relevante. Para documentar de forma sistemática e garantir a integridade e a eficiência da revisão, é crucial estabelecer o protocolo de pesquisa (MOHER *et al.*, 2009; PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018). Além disso, é importante estabelecer critérios claros de inclusão e exclusão para avaliar os estudos selecionados, assegurando a qualidade e a consistência das evidências consideradas (PICCAROZZI; AQUILANI; GATTI, 2018).

3. Revisão Sistemática da literatura

O principal propósito do estudo é explorar a relação entre a tecnologia *Big Data* e a produção sustentável. Os documentos foram extraídos das bases de dados *Web of Science* e *Scopus* devido à sua extensa cobertura internacional. Utilizadas as seguintes palavras-chave: *TITLE-ABS-KEY* (((*"Big Data"*) AND (*"sustainable production"*))). A pesquisa incluiu artigos que cumpriram os seguintes critérios: (1) documentos publicados online até 01 de setembro de 2023; (2) documentos continham pelo menos um dos termos identificados no resumo, título ou palavras-chave; e (3) publicados em periódicos. Para realizar o processo de revisão dos documentos, optou-se por utilizar o protocolo de estrutura metodológica PRISMA, por meio de quatro fases principais: Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão (MOHER *et al.*, 2009). Os resultados consolidados são representados na Figura 1.

Figura 1- Estrutura metodológica PRISMA



Fonte: Adaptado Moher *et al.* (2009)

Foram identificados 73 documentos nas bases de dados. Após essa identificação, os documentos foram importados para o *software Mendeley*, para o início da primeira fase de triagem, conforme sugerido pelo protocolo PRISMA, que compreendeu a remoção de

documentos duplicados. Em seguida, os artigos passaram por duas fases de triagem: (1) revisão dos títulos, resumos e palavras-chave e (2) leitura completa dos artigos, conduzida por (3) revisores.

Durante a etapa de triagem de duplicados, identificaram-se (27) artigos. Posteriormente, na fase de revisão dos títulos e resumos, apenas (1) artigo foi excluído conforme o critério de exclusão da figura, e (45) documentos avançaram para a próxima fase de elegibilidade. Nessa fase, 15 artigos foram excluídos conforme aos critérios: i) documento abordava somente produção sustentável (não abordava *Big Data*); ii) documento indisponível; iii) documento sem relação explícita ao tema; iv) documento utiliza termos apenas para palavras-chaves ou expressões citadas. Assim, a análise final foi conduzida com um total de 29 documentos provenientes de revistas acadêmicas, contribuindo para os objetivos de pesquisa deste estudo.

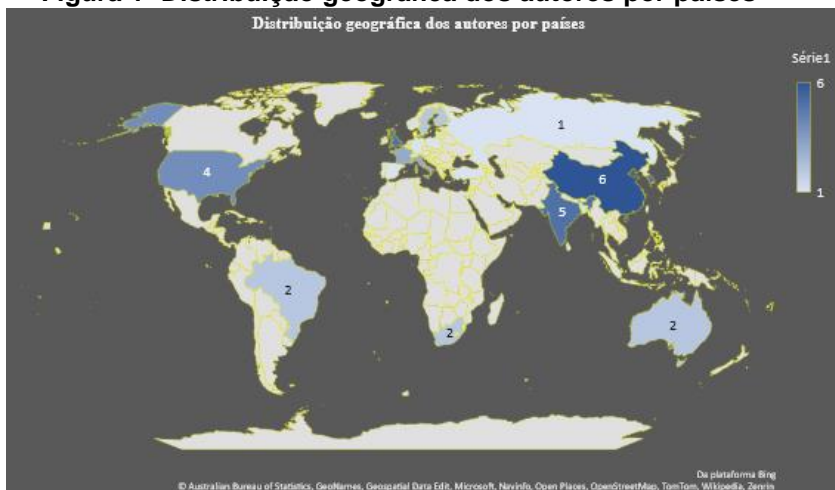
4. Resultados

A análise foi dividida por duas etapas distintas. Inicialmente, apresentou-se uma análise quantitativa para examinar as principais características e origens dos documentos. Em seguida, foi realizada a análise qualitativa do conteúdo dos artigos.

4.1 Resultados quantitativos

Com base na distribuição geográfica dos autores que abordaram o tema, foi observado uma variedade de países envolvidos em pesquisas. A China lidera com 6 autores, seguida pela Coreia, Índia, Reino Unido e EUA, cada um com 5 autores. Isso demonstra um interesse significativo e colaboração internacional sobre o tema, com representação de diversos países, incluindo por exemplo, algumas nações europeias, asiáticas e sul-americanas. A diversidade geográfica pode contribuir para uma perspectiva global abrangente sobre o tema.

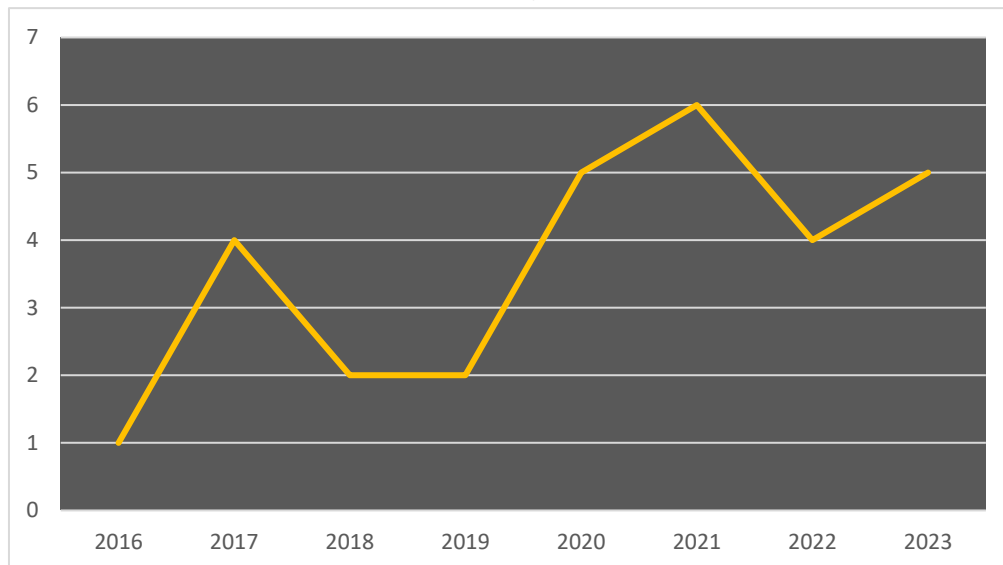
Figura 1- Distribuição geográfica dos autores por países



Fonte: Autores

Observa-se uma tendência de crescimento no número de publicações sobre o tema em (2021), divergindo com uma tendência mais baixa ao ano de (2022). Apesar de os dados terem sido coletados até setembro de 2023, o número de publicações já ultrapassou o total do ano de (2022), sugerindo a possibilidade de um aumento significativo no número de publicações sobre o tema em 2023, comparado aos anos anteriores. Os resultados podem ser visualizados na Figura 2.

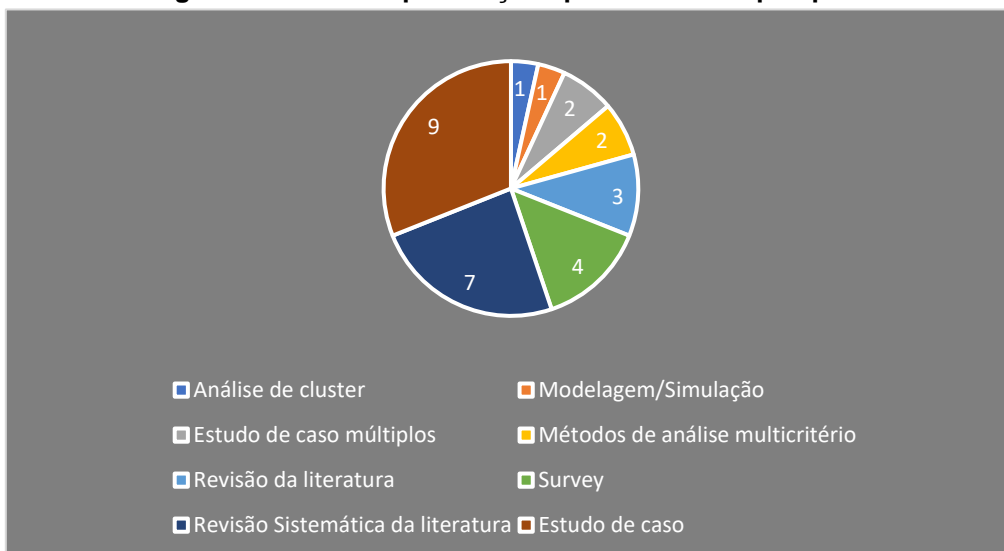
Figura 2- Quantidade de publicações sobre o tema por ano



Fonte: Autores

A diversidade dos métodos de pesquisa são consideráveis, entretanto a maioria dos estudos focaram em Estudo de caso, Revisão Sistemática da Literatura e *Survey*, com (9), (7) e (4) publicações sucessivamente.

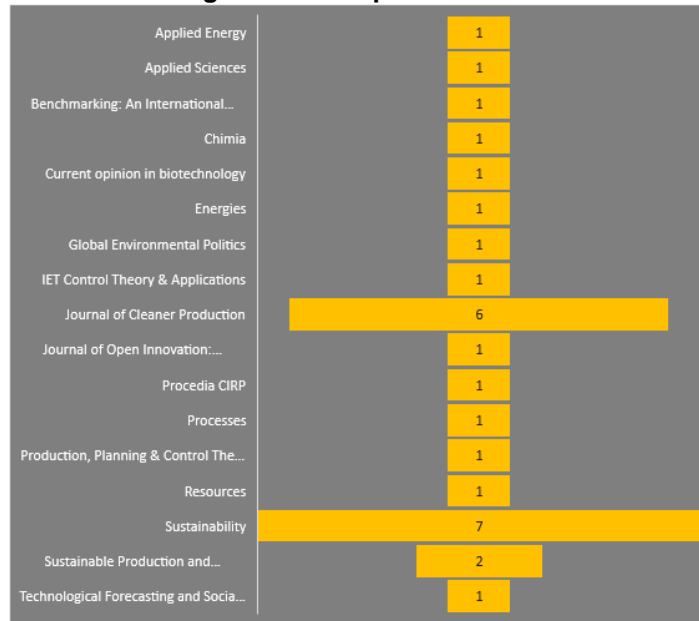
Figura 3 - Totais de publicações por método de pesquisa



Fonte: Autora

A diversidade de periódicos é considerável, entretanto existe uma concentração significativa em dois principais *Journals*. Os dois principais periódicos com maior quantidade de publicações sobre o tema são o "*Journal of Cleaner Production*" com (6) publicações, e "*Sustainability*" com um total de (7) publicações.

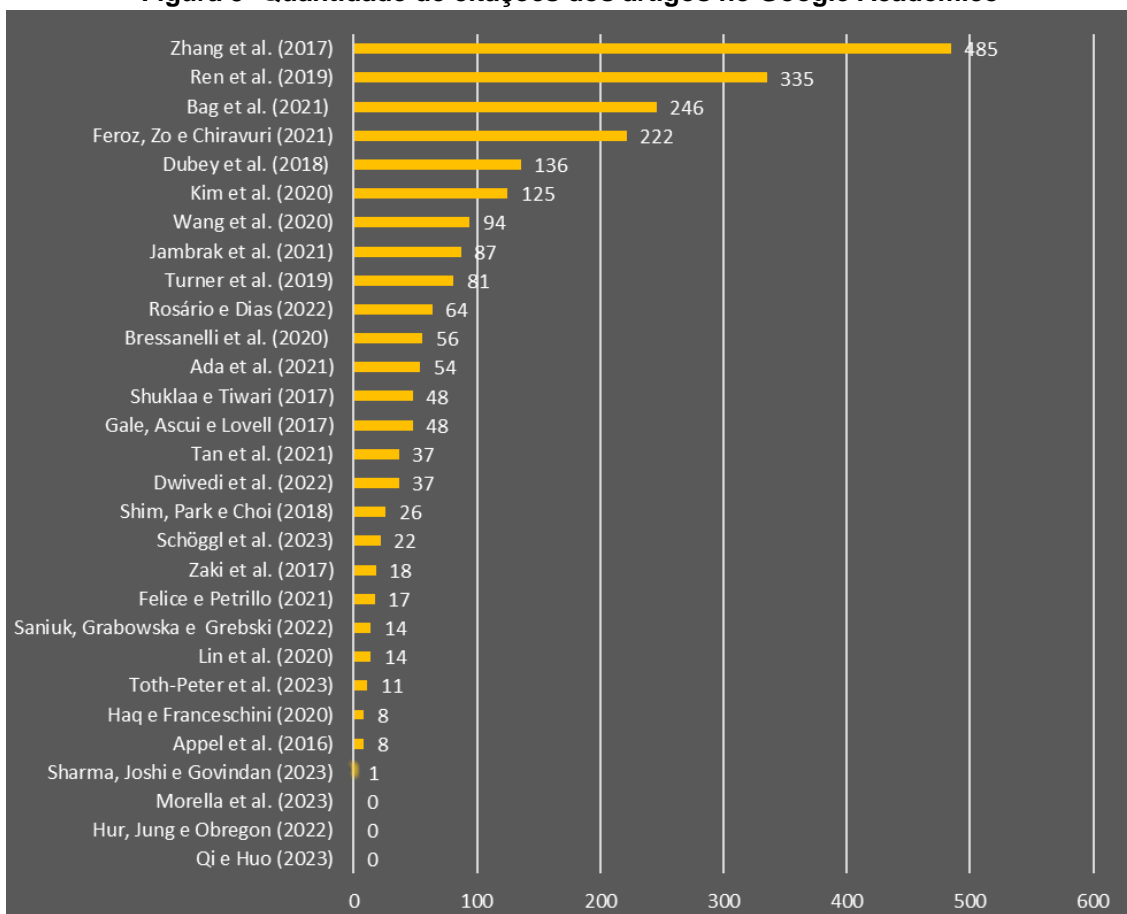
Figura 4- Principais Journals



Fonte: Autores

Quanto aos artigos mais citados, foi utilizado o Google Acadêmico para conduzir a análise, identificando um total de 26 artigos, sendo que 3 deles ainda não receberam nenhuma citação até o momento. Os resultados estão apresentados na Figura 5.

Figura 5- Quantidade de citações dos artigos no Google Acadêmico



Fonte: Autores

4.2 Resultados qualitativos

As informações associadas aos documentos, incluindo autores, anos e principais contribuições dos estudos considerados para essa pesquisa foram devidamente categorizadas, como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Documentos incluídos e suas principais contribuições

Autores	Objetivos
Qi e Huo (2023)	Investiga e analisa o comportamento dos agricultores com base em técnicas de <i>Big Data</i> e transmissão de vídeo
Schögl et al. (2023)	Explora tecnologias digitais na implementação de uma economia
Morella et al. (2023)	Analisa as aplicações da implementação da Indústria 4.0 e suas tecnologias constituintes aos aspectos da gestão da cadeia de suprimentos
Sharma, Joshi e Govindan (2023)	Analisa as barreiras à implementação de tecnologias digitais para alcançar o consumo e a produção sustentáveis no setor de cadeias de suprimentos alimentar
Toth-Peter et al. (2023)	Analisa quais tecnologias podem ser implementadas em modelos de negócios circulares e como elas apoiam o processo de transição
Dwivedi et al. (2022)	Analisa os desafios relativos à interação da indústria 4.0 e economia circular para a produção sustentável de calçados
Rosário e Dias (2022)	Explora estudos recentes em sustentabilidade e transição digital
Hur, Jung e Obregon (2022)	Demonstra como a análise de <i>Big Data</i> e Análises avançadas podem contribuir para tornar os processos de produção mais sustentáveis
Saniuk, Grabowska e Grebski (2022)	Identifica conhecimentos e habilidades críticas dos engenheiros para a implementação das tecnologias da Indústria 4.0
Ada et al. (2021)	Investiga as barreiras da economia circular na cadeia de suprimentos de alimentos
Bag et al. (2021)	Analisa os principais recursos para a adoção da Indústria 4.0 e seu efeito na produção sustentável e nas capacidades da economia circular
Feroz, Zo e Chiravuri (2021)	Identifica as perturbações causadas pela transformação digital no campo da sustentabilidade ambiental por meio de uma revisão sistemática da literatura
Jambrak et al. (2021)	Avalia a viabilidade de usar sensores inteligentes, Inteligência Artificial, <i>Big Data</i> e tecnologias para criar fábricas inteligentes com ênfase em sustentabilidade
Tan et al. (2021)	Propõem uma nova estrutura por meio de “ <i>Machine Learning for Smart Energy</i> ” para a aplicação em processos de fabricação
Felice e Petrillo (2021)	Define o estado atual e futuros desenvolvimentos de pesquisas na área Economia Circular, com foco na integração de tecnologias digitais
Bressanelli et al. (2020)	Investiga como a economia circular tem sido adotada na indústria de eletrodomésticos
Kim et al. (2020)	Discute abordagens de aprendizado de máquina em etapas da engenharia metabólica de sistemas
Lin et al. (2020)	Explora <i>Big Data</i> em linhas de produção de motores
Wang et al. (2020)	Propõem um novo paradigma de gestão do ciclo de vida do produto com foco no processo de remanufatura
Haq e Franceschini (2020)	Desenvolve uma escala conceitual preliminar para a medição da capacidade de manufatura distribuída de empresas manufatureiras que operam nos setores de borracha e plástico
Ren et al. (2019)	Realiza uma revisão sobre o uso de <i>Big Data</i> na manufatura inteligente com base no ciclo de vida do produto
Turner et al. (2019)	Explora a viabilidade de um modelo de negócio redistribuído para fabricantes que empregam novas tecnologias de fabricação como parte de um sistema de produção e consumo sustentável e circular

Dubey <i>et al.</i> (2018)	Examina o papel do <i>Big Data</i> e análise de dados no desempenho colaborativo entre os parceiros envolvidos no programa de desenvolvimento sustentável
Shim, Park e Choi (2018)	Explora a inovação aplicada na programação de operações, envolvendo tecnologias como a Internet das Coisas, Computação em Nuvem, <i>Big Data</i> e Tecnologia móvel.
Gale, Ascui e Lovell (2017)	Investiga as ligações entre esquemas de governação híbridos e regimes intergovernamentais
Shukla e Tiwari (2017)	Investiga as limitações enfrentadas por agricultores na produção sustentável de óleo de palma
Zhang <i>et al.</i> (2017)	Apresenta uma proposta de arquitetura geral de análise baseada em <i>Big Data</i> para o ciclo de vida do produto
Zaki <i>et al.</i> (2017)	Investiga como o <i>Big Data</i> pode facilitar a produção redistribuída nas indústrias de bens de consumo
Appel <i>et al.</i> (2016)	Investiga as habilidades de análises na área da Produção Química Sustentável

Fonte: Autores

Grande parte dos estudos exploraram o uso de tecnologias digitais na implementação da economia circular, examinando as aplicações da Indústria 4.0 na gestão da cadeia de suprimentos. Qi e Huo (2023) investigaram e analisaram o comportamento dos agricultores com base em técnicas de *Big Data* e transmissão de vídeo. Morella *et al.* (2023) analisaram as aplicações da implementação da Indústria 4.0 e suas tecnologias constituintes aos aspectos da gestão da cadeia de suprimentos. Sharma, Joshi e Govindan (2023) focaram-se em analisar as barreiras à implementação de tecnologias digitais para alcançar o consumo e a produção sustentáveis no setor de cadeias de suprimentos alimentar. Toth-Peter *et al.* (2023) analisaram quais tecnologias podem ser implementadas em modelos de negócios circulares e como elas apoiam o processo de transição.

Outra categoria de estudos concentrou-se na integração de tecnologias digitais para tornar os processos de produção mais sustentáveis. Hur, Jung e Obregon (2022) demonstraram como a análise de *Big Data* e análises avançadas podem contribuir para tornar os processos de produção mais sustentáveis. Wang *et al.* (2020) propuseram um novo paradigma de gestão do ciclo de vida do produto com foco no processo de remanufatura.

Os resultados dos artigos também abordaram a aplicação de tecnologias digitais em setores específicos. Bressanelli *et al.* (2020) investigaram como a economia circular tem sido adotada na indústria de eletrodomésticos. Lin *et al.* (2020) exploraram o uso de *Big Data* em linhas de produção de motores. Turner *et al.* (2019) exploraram a viabilidade de um modelo de negócio redistribuído para fabricantes que empregam novas tecnologias de fabricação como parte de um sistema de produção e consumo sustentável e circular.

Alguns estudos examinaram o papel do *Big Data* e da análise de dados no desempenho colaborativo entre os parceiros envolvidos em programas de desenvolvimento sustentável. Dubey *et al.* (2018) investigaram essa colaboração. Gale, Ascui e Lovell (2017) investigaram as ligações entre esquemas de governação híbridos e regimes intergovernamentais.

Outros artigos se concentraram em identificar as limitações enfrentadas por agricultores na produção sustentável de óleo de palma (Shukla e Tiwari, 2017) e nas habilidades de análises na Produção Química Sustentável (Appel *et al.*, 2016). Alguns estudos abordaram tópicos adicionais, como a análise do comportamento dos agricultores com base em técnicas de *Big Data* e transmissão de vídeo (Qi e Huo, 2023), identificação de conhecimentos e habilidades críticas dos engenheiros para a implementação da Indústria 4.0 (Saniuk, Grabowska e Grebski, 2022), e propostas de arquitetura geral de análise baseada em *Big Data* para o ciclo de vida do produto (Zhang *et al.*, 2017).

5. Conclusão

Essa pesquisa explorou a relação entre a tecnologia *Big Data* e a produção sustentável, e trouxe à tona uma série de descobertas e implicações de grande relevância tanto para o contexto acadêmico quanto para a gestão das organizações. O estudo se baseou em uma revisão sistemática da literatura (RSL) para compreender as nuances dessa relação.

A pesquisa destacou-se ao oferecer uma visão abrangente do estado atual do conhecimento na interseção entre tecnologia *Big Data* e produção sustentável. Ao realizar uma revisão sistemática da literatura, foi possível mapear as tendências qualitativas e quantitativas, identificar lacunas e consolidar as descobertas de pesquisas anteriores. Isso contribui significativamente para a base de conhecimento acadêmico, fornecendo um ponto de partida sólido para futuras investigações. Além disso, o estudo ressaltou a necessidade de aprofundar a compreensão das relações entre *Big Data* e práticas de produção sustentável. Isso abre oportunidades para pesquisadores explorarem questões específicas, desenvolverem novos modelos teóricos e conduzirem estudos empíricos para validar as descobertas teóricas. Portanto, esse trabalho não apenas contribui para o conhecimento existente, mas também estimula o avanço contínuo da pesquisa nessa área.

As implicações gerenciais desse estudo são igualmente significativas. A pesquisa evidencia que as tecnologias *Big Data* têm o potencial de transformar significativamente as práticas de produção sustentável. Ao possibilitar a coleta, análise e aplicação inteligente de dados em tempo real, as organizações podem tomar decisões mais informadas e orientadas para a sustentabilidade em suas operações. Os resultados sugerem que as organizações podem adotar o uso de *Big Data* para criar experiências de consumo conscientes, alinhar padrões de compra do consumidor com metas de sustentabilidade e desenvolver modelos de negócios com incentivos sustentáveis. Isso não apenas pode impulsionar a responsabilidade corporativa, mas também fortalecer a posição competitiva das empresas no mercado, à medida que os consumidores buscam cada vez mais produtos e serviços sustentáveis.

Dessa forma, essa pesquisa oferece insights valiosos para acadêmicos e gestores, sublinhando a promissora interseção entre *Big Data* e produção sustentável, e ressaltando a importância de explorar ainda mais essa relação em futuros estudos e práticas de gestão. Essas descobertas têm o potencial de orientar ações mais conscientes em direção a um futuro mais sustentável.

Referências

- ADA, Nesrin *et al.* Analyzing barriers of circular food supply chains and proposing industry 4.0 solutions. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6812, 2021.
- APPEL, Joerg *et al.* Comprehensive Analysis Competence and Innovative Approaches for Sustainable Chemical Production. **Chimia**, v. 70, n. 9, p. 621-621, 2016.
- AZZAHRO, Fatimah *et al.* Toward Sustainable Consumption Initiatives Enabled by Information Technology: A Literature Review. In: **2022 5th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)**. IEEE, 2022. p. 253-258.
- BAG, Surajit *et al.* Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circular economy: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 125233, 2021.
- BIOLCHINI, Jorge *et al.* Systematic review in software engineering. **System engineering and computer science department COPPE/UFRJ, Technical Report ES**, v. 679, n. 05, p. 45, 2005.

BRESSANELLI, Gianmarco *et al.* Towards circular economy in the household appliance industry: An overview of cases. **Resources**, v. 9, n. 11, p. 128, 2020.

CHANDRA, Shobhana; VERMA, Sanjeev. *Big Data* and sustainable consumption: a review and research agenda. **Vision**, v. 27, n. 1, p. 11-23, 2023.

CHEN, Hsinchun; CHIANG, Roger HL; STOREY, Veda C. Business intelligence and analytics: From *Big Data* to big impact. **MIS quarterly**, p. 1165-1188, 2012.

DUBEY, Rameshwar *et al.* Examining the role of *Big Data* and predictive analytics on collaborative performance in context to sustainable consumption and production behaviour. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 1508-1521, 2018.

DWIVEDI, Ashish *et al.* Integrating the circular economy and industry 4.0 for sustainable development: Implications for responsible footwear production in a *Big Data*-driven world. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 175, p. 121335, 2022.

FAROUKHI, A. Z. *et al.* *Big Data* monetization throughout *Big Data* Value Chain: a comprehensive review, **Journal of Big Data**, v. 7, n. 1, p. 1-22, 2020.

FELICE, Fabio; PETRILLO, Antonella. Green transition: The frontier of the digicircular economy evidenced from a systematic literature review. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 11068, 2021.

FEROZ, Abdul Karim; ZO, Hangjung; CHIRAVURI, Ananth. Digital transformation and environmental sustainability: A review and research agenda. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1530, 2021.

GALE, Fred; ASCUI, Francisco; LOVELL, Heather. Sensing reality? New monitoring technologies for global sustainability standards. **Global Environmental Politics**, v. 17, n. 2, p. 65-83, 2017.

HAQ, Ijaz; FRANCESCHINI, Fiorenzo. Distributed manufacturing: proposal for a conceptual scale based on empirical evidence in the rubber and plastic sectors. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, n. 1, p. 430-470, 2020.

HUR, Sun; JUNG, Jae-Yoon; OBREGON, Josue. Special Issue on "Application of *Big Data* Analysis and Advanced Analytics in Sustainable Production Process". **Processes**, v. 10, n. 4, p. 670, 2022.

KIM, Gi Bae *et al.* Machine learning applications in systems metabolic engineering. **Current opinion in biotechnology**, v. 64, p. 1-9, 2020.

KOPPEL, Siim; CHANG, Shing. MDAIC—a Six Sigma implementation strategy in *Big Data* environments. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 12, n. 2, p. 432-449, 2021.

LIN, Yao-Chin *et al.* The use of *Big Data* for sustainable development in motor production line issues. **Sustainability**, v. 12, n. 13, p. 5323, 2020.

MOHER, David *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of internal medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

MORELLA, Paula *et al.* Technologies Associated with Industry 4.0 in Green Supply Chains: A Systematic Literature Review. **Sustainability**, v. 15, n. 12, p. 9784, 2023.

OUSSOUS, Ahmed *et al.* *Big Data* technologies: A survey. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 4, p. 431-448, 2018.

PICCAROZZI, Michela; AQUILANI, Barbara; GATTI, Corrado. Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3821, 2018.

QI, Qi; HUO, Hongmei. Accuracy analysis of farmer behaviour based on *Big Data* and efficient video transmission: A convolutional neural network approach. **IET Control Theory & Applications**, 2023.

RACHINGER, Michael *et al.* Digitalization and its influence on business model innovation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 30, n. 8, p. 1143-1160, 2018.

REN, Shan *et al.* A comprehensive review of *Big Data* analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing: A framework, challenges and future research directions. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 1343-1365, 2019.

REŽEK JAMBRAK, Anet *et al.* Internet of nonthermal food processing technologies (Iontp): Food industry 4.0 and sustainability. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, p. 686, 2021.

ROSÁRIO, Albérico Travassos; DIAS, Joana Carmo. Sustainability and the digital transition: A literature review. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4072, 2022.

SANIUK, Sebastian; GRABOWSKA, Sandra; GREBSKI, Wieslaw. Knowledge and skills development in the context of the fourth industrial revolution technologies: interviews of experts from Pennsylvania State of the USA. **Energies**, v. 15, n. 7, p. 2677, 2022.

SCHÖGGL, Josef-Peter *et al.* Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. **Sustainable Production and Consumption**, v. 35, p. 401-420, 2023.

SHARMA, Manu; JOSHI, Sudhanshu; GOVINDAN, Kannan. Overcoming barriers to implement digital technologies to achieve sustainable production and consumption in the food sector: A circular economy perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 39, p. 203-215, 2023.

SHIM, Sang-Oh; PARK, KyungBae; CHOI, SungYong. Sustainable production scheduling in open innovation perspective under the fourth industrial revolution. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 4, n. 4, p. 42, 2018.

SHUKLA, Manish; TIWARI, Manoj Kumar. Big-data analytics framework for incorporating smallholders in sustainable palm oil production. **Production Planning & Control**, v. 28, n. 16, p. 1365-1377, 2017.

TAN, Daniel *et al.* A three-step machine learning framework for energy profiling, activity state prediction and production estimation in smart process manufacturing. **Applied Energy**, v. 291, p. 116808, 2021.

TOTH-PETER, Agnes *et al.* Industry 4.0 as an enabler in transitioning to circular business models: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, p. 136284, 2023.

TURNER, Chris *et al.* Sustainable production in a circular economy: A business model for re-distributed manufacturing. **Sustainability**, v. 11, n. 16, p. 4291, 2019.

WANG, Yankai *et al.* *Big Data* driven Hierarchical Digital Twin Predictive Remanufacturing paradigm: Architecture, control mechanism, application scenario and benefits. **Journal of cleaner production**, v. 248, p. 119299, 2020.

YADAV, Neeraj; SHANKAR, Ravi; SINGH, Surya Prakash. Critical success factors for lean six sigma in quality 4.0. **International Journal of Quality and Service Sciences**, v.13, n.1, p. 123- 156, 2021.

ZAKI, Mohamed *et al.* The role of *Big Data* to facilitate redistributed manufacturing using a co-creation lens: patterns from consumer goods. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 680-685, 2017.

ZHANG, Yingfeng *et al.* A *Big Data* analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. **Journal of cleaner production**, v. 142, p. 626-641, 2017.