

LEAN SEIS SIGMA APLICADO NA INDÚSTRIA 4.0: UMA CONTRIBUIÇÃO BIBLIOMÉTRICA

LEAN SEIS SIGM APPLIED IN INDUSTRY 4.0: A BIBLIOMETRIC CONTRIBUTION

Gleiciane Pisoler*  E-Mail: gleicipisoler@hotmail.com

Rodrigo Randow de Freitas*  E-mail: rodrigo.r.freitas@ufes.br

*Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro Universitário Norte do Espírito Santo (Ceunes), São Mateus, ES, Brasil.

Resumo: A coleta e análise de dados sobre a produção científica desempenham um papel fundamental na continuidade das pesquisas e no avanço de determinadas áreas do conhecimento. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo investigar o perfil das pesquisas relacionadas à aplicação do *Lean Seis Sigma* na Indústria 4.0. Utilizando técnicas bibliométricas e consultando as bases de dados como *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*, foram identificados 27 artigos relevantes. Os dados foram tratados utilizando *softwares* como Microsoft Excel®, RStudio® e Bibliometrix®. Os resultados estatísticos descritivos destacaram os autores, artigos, núcleo de pesquisa e periódicos mais referenciados, além dos principais temas abordados. A análise bibliométrica incluiu artigos publicados em diferentes períodos até meados de 2023. Além disso, foram utilizadas técnicas como nuvem de palavras-chave, mapa temático e dendrograma para destacar os temas mais abordados e identificar áreas promissoras para futuras pesquisas. Este estudo pode impulsionar o progresso científico ao estimular a geração de novas abordagens, teorias e perspectivas únicas no campo do *Lean Seis Sigma*, que é fundamental para a excelência operacional nas organizações.

Palavras-chave: *Lean Seis Sigma*. Indústria 4.0. Bibliometria. Análise Descritiva.

Abstract: The collection and analysis of data on scientific production play a fundamental role in the continuity of research and advancement of specific areas of knowledge. In this context, this study aims to investigate the research profile related to the application of *Lean Six Sigma* in Industry 4.0. By using bibliometric techniques and consulting databases such as *Scopus*, *Web of Science*, and *Scielo*, 27 relevant articles were identified. The data were processed using software such as Microsoft Excel®, RStudio®, and Bibliometrix®. Descriptive statistical results highlighted the most referenced authors, articles, research groups, and journals, as well as the main topics addressed. The bibliometric analysis included articles published in different periods until mid-2023. Additionally, techniques such as keyword cloud, thematic map, and dendrogram were employed to highlight the most discussed topics and identify promising areas for future research. This study has the potential to drive scientific progress by stimulating the generation of new approaches, theories, and unique perspectives in the field of *Lean Six Sigma*, which is crucial for operational excellence in organizations.

Keywords: *Lean Six Sigma*. Industry 4.0. Bibliometrics. Descriptive Analysis.

1 INTRODUÇÃO

A busca constante por melhorias no desempenho e eficiência dos processos produtivos têm impulsionado a adoção de abordagens como a Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing - LM) e a metodologia Seis Sigma (Six Sigma). O LM, desenvolvido a partir do Sistema Toyota de Produção, concentra-se na eliminação de desperdícios e otimização dos processos, enquanto o Seis Sigma busca reduzir a variação e melhorar a qualidade por meio de metodologias estatísticas rigorosas, promovendo processos mais estáveis e previsíveis (Erbiyik; Saru, 2015; Silva Zárate, 2018; Ruben *et al.* 2018). A convergência dessas duas metodologias resultou no *Lean Seis Sigma* (LSS), uma abordagem híbrida a redução de desperdícios do LM com a precisão analítica do Seis Sigma, visando qualidade, redução de custos e eficiência (Silva Zárate, 2018; Ganebnykh *et al.*, 2020).

A implementação do LSS tem sido amplamente adotada por diversos setores, incluindo manufatura, saúde e serviços, resultando em aumento da produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade do produto ou serviço e aumento da satisfação do cliente (Sreedharan, 2018). No entanto, a complexidade dos processos produtivos modernos exige abordagens mais dinâmicas e integradas, especialmente diante do avanço das tecnologias digitais (Sordan, 2020). Nesse contexto, a Indústria 4.0 (I4.0), tem provocado transformações significativas, impulsionando a digitalização, automação e interconectividade dos processos industriais por meio de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT) e *Big Data* (Hofmann; Rüsch, 2017; Sordan, 2020; Constantinescu *et al.*, 2014). Essa revolução industrial traz consigo a capacidade de respostas às mudanças de mercado, otimização dos fluxos produtivos e personalização da produção, aumentando a competitividade das organizações (Titmarsh *et al.*, 2020; Kagermann *et al.*, 2013).

A integração entre LSS e I4.0 representa uma oportunidade para elevar os níveis de eficiência e inovação no setor produtivo. O uso de tecnologias digitais facilita a coleta e análise de grandes volumes de dados, otimizando a tomada de decisão baseada em evidências e permitindo uma automação mais inteligente dos processos Lean (Sordan, 2020). Além disso, a interconectividade promovida pela I4.0 permite a aplicação de princípios enxutos em tempo real, melhorando a previsibilidade e o controle sobre desperdícios (Hermann *et al.*, 2016).

A integração dessas abordagens também pode levar a uma maior eficiência energética e sustentabilidade nos processos produtivos (Müller *et al.*, 2018). A utilização de sensores e sistemas inteligentes permite monitorar e otimizar o consumo de energia, reduzindo o impacto ambiental das operações (Albino *et al.*, 2015). Diversos estudos já apontam que a implementação do LM na I4.0 no desenvolvimento de produtos pode trazer eficiência, redução de custos e maior competitividade para as empresas (Tardio *et al.*, 2023). Em 2017, uma pesquisa conduzida pela BCG (Boston Consulting Group) comprovou que a aplicação da metodologia *Lean* à I4.0 reduziu em 40% os custos dos fabricantes que a implementaram. Em contrapartida, a aplicação das metodologias isoladas obteve resultados de aproximadamente 15% de redução de custos (Küpper *et al.*, 2017). Portanto, fica evidente que a integração de metodologias permite uma vantagem competitiva para as empresas que a aplicarem de forma efetiva.

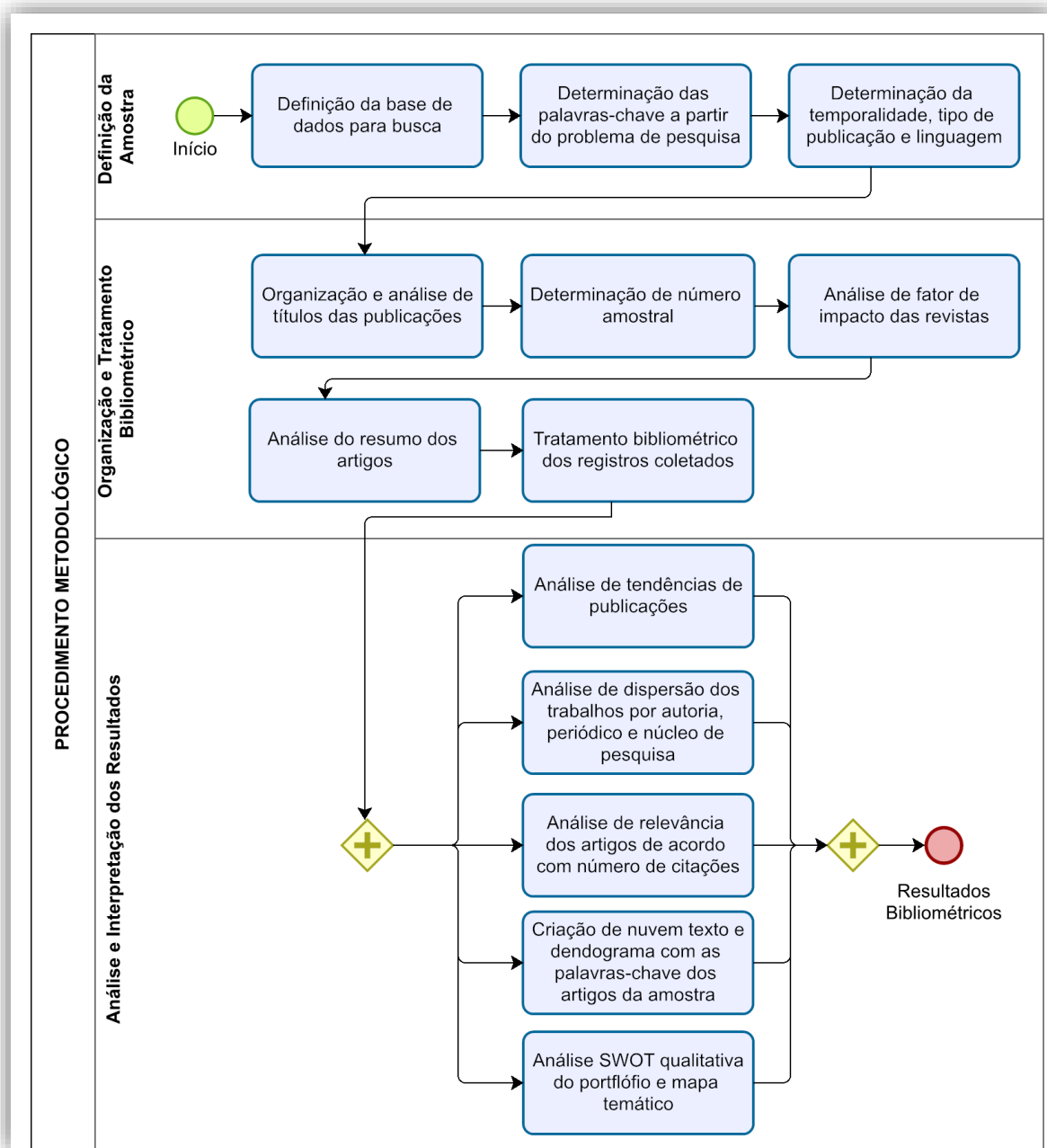
No entanto, é importante destacar que a integração do LSS na I4.0 apresenta desafios e requer uma abordagem cuidadosa. É necessário garantir a compatibilidade entre os princípios e as práticas de ambas as abordagens, bem como promover a capacitação dos colaboradores para lidar com as tecnologias emergentes (Komkowski *et al.*, 2023).

Com o exposto, embora o conhecimento sobre as práticas tradicionais do LSS esteja consolidado na comunidade científica, a integração dessas metodologias à I4.0 ainda é um campo em desenvolvimento (Sordan, 2020). Portanto, é imperativo e objetivo de o presente estudo realizar uma análise bibliométrica para mapear a produção científica existente sobre a aplicação do *Lean Seis Sigma* na Indústria 4.0, a fim de identificar lacunas de pesquisa, tendência, oportunidades de avanço e mapear a evolução da publicação de artigos com a análise de indicadores científicos.

2 METODOLOGIA

Como meio a alcançar o objetivo proposto, o procedimento metodológico foi baseado em Endler *et al.* (2016) e Reis *et al.* (2017), que se apoiam em técnicas bibliométricas voltadas para a compreensão e análises qualitativas e quantitativas (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma do processo metodológico aplicado



Fonte: Autores.

2.1 Definição da Amostra e Organização dos Dados

As três bases de dados selecionadas foram: Scopus (Elsevier), *Web of Science* (WoS) (Clarivate Analytics) e *SciELO Citation Index* (integrado à *Web of Science*). A escolha se deu devido a reputação, cobertura e relevância para a pesquisa

acadêmica, além disso, o acesso liberado pelo Periódico Capes, que permite ampla disponibilidade para pesquisadores e instituições acadêmicas.

A pesquisa utilizou como palavras-chave (*Tags*), para a busca de dados, a combinação dos termos *Lean Six Sigma* e *Industry 4.0*. Ao utilizá-las, buscou-se obter resultados mais relevantes e direcionados para o tema de interesse, evitando informações excessivas e dispersas. A concentração na intersecção entre os termos definidos possibilitou uma análise aprofundada das práticas e aplicações dessa metodologia na era da I4.0. Para a busca das *tags*, utilizou-se o campo “Tópico” nas bases de dados SciELO e WoS, que realiza a pesquisa dos termos no título, resumo, palavras-chave do autor e *Keywords Plus*. Na base *Scopus*, por sua vez, utilizou-se o campo “*Article title, Abstract, Keywords*”.

Os dados foram exportados em formato .bib para organização em uma planilha eletrônica, e com o auxílio do Rstudio® fez-se a compilação das bases e exclusão de artigos duplicados. Optou-se por considerar como tipo de publicação somente artigos acadêmicos, pois estes geralmente antecedeem publicações de livros e são considerados fontes seguras de pesquisas. O período de cobertura definido foi de 2018 até 2023 (5 últimos anos, mais parte de 2023) para obter os estudos mais atuais, e foram considerados artigos escritos em português e inglês.

2.2 Tratamento Bibliométrico

Foi estabelecido o número amostral, ou seja, o número de artigos que deveriam ser explorados e que eram aderentes à pesquisa. Considerando o nível de confiança, a população total (número de artigos nas bases) e a margem de erro, a amostra foi dimensionada por meio de cálculo amostral, estabelecido pela equação 1 (Dupont; Plummer, 1990):

$$n = \frac{Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right] \cdot N}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right]} \quad (1)$$

Em que,

- n representa o tamanho da amostra que se deseja estabelecer;
- N é o tamanho da população;
- e é o erro amostral;

- x/n é a proporção estimada do item pesquisado na amostra (%);
- Z é o valor da abscissa da curva normal associada ao nível de confiança (Barbetta, 2007).

Portanto, levando em conta as características da população, bem como o método de pesquisa selecionado, a amostragem foi do tipo probabilística, visto que contemplou uma população finita e acessível, e todos os seus elementos possuíam probabilidade de pertencer à amostra (Eckert, 2016). O erro amostral considerado aceitável foi de 5%, como não se tem uma previsão estimada do tamanho da amostra utilizou-se o valor de 50% e o nível de confiança utilizado foi de 90%.

Também, realizou-se uma análise *Qualis Capes* com o objetivo de refinar os dados com as publicações em periódicos de maior impacto nacionalmente. Utilizou-se a plataforma JCR (*Journal Citation Report*) para analisar o *Journal Impact Factor* de publicações internacionais provenientes do *Web of Science*, e no *Scopus* foi utilizado o *CiteScore*. Nesse contexto, os artigos selecionados e provenientes dos periódicos com maior pontuação dos indicadores analisados foram utilizados para a etapa final de análise qualitativa do *Portfólio* final. Após a seleção dos artigos de maior relevância, foi realizado um tratamento bibliométrico dos registros coletados por meio da estatística descritiva, com a utilização de tabelas e gráficos ilustrativos. Foram empregados *softwares* gratuitos com versões demo, como o Microsoft Excel®, Rstudio® e Bibliometrix®.

Por fim, os resultados do tratamento bibliométrico foram compilados para realização de análises descritivas, como: dispersão dos trabalhos por autoria, periódico e núcleo de pesquisa; relevância dos artigos de acordo com número de citações; nuvem texto com as palavras-chave dos artigos da amostra; e tendências de publicações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente é válido ressaltar que as expressões em português acabaram sendo descartadas da busca nos Bancos de Dados (BD), uma vez que não tiveram retorno de busca. Assim, obteve-se uma amostra composta por 167 documentos em inglês, espanhol e alemão, onde não se alcançou retorno da base SciELO. A falta de resultados ao buscar artigos com a combinação das *tags Lean Six Sigma* e *Industry*

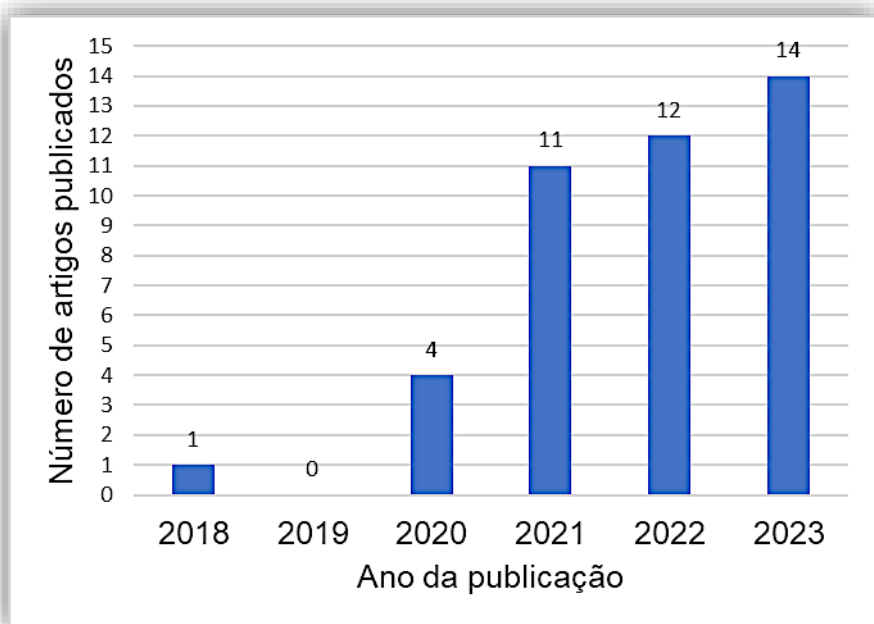
4.0 na base de dados da *Scielo* pode ser atribuída à sua ênfase em periódicos científicos de língua portuguesa e espanhola, com foco na América Latina e Caribe, e como será evidenciado abaixo, as publicações nesse campo de pesquisa predominam em outras regiões. O mesmo ocorrendo com a falta de retorno dos termos em português nas 3 bases escolhidas devido a limitação de estudos e documentos em português. É importante considerar que o LSS e a I4.0 são campos de estudo relativamente recentes, como tais, pode haver uma lacuna na disponibilidade de pesquisas acadêmicas específicas nessas áreas.

Para compreender essa falta de resultados das *tags* em português e verificar se há realmente escassez de estudos, uma pesquisa adicional foi conduzida no Google Acadêmico (*Google Scholar*) utilizando os termos "*Lean Seis Sigma*" e "Indústria 4.0". Os resultados brutos totalizaram aproximadamente 5000. Essa descoberta indica uma quantidade substancial de informações disponíveis, principalmente em repositórios universitários, que podem não estar indexadas nas bases de dados escolhidas anteriormente. Isso levanta a necessidade de considerar diferentes fontes de informação e explorar repositórios acadêmicos específicos para obter uma visão mais abrangente da pesquisa nessas áreas. Recomenda-se assim uma análise mais aprofundada, utilizando palavras-chave adicionais e avaliando a relevância e a qualidade dos estudos. Embora a quantidade de resultados brutos não seja indicativa da qualidade, essa nova abordagem no Google Acadêmico representa uma oportunidade valiosa para pesquisas futuras sobre LSS e I4.0.

Dos 167 documentos obtidos com a utilização das bases pré-definidas e exclusão de artigos duplicados, resultou em 119 documentos. Também, foram excluídos artigos que não continham, em suas palavras-chave ou resumos, os termos relacionados ao LSS e I4.0. Dessa forma, foram obtidos 42 artigos, que configuram as pesquisas aderentes ao objetivo do presente estudo.

Ao analisar os 42 artigos com títulos e resumos relevantes à pesquisa revelou uma distribuição temporal que indica um aumento na produção acadêmica sobre LSS e I4.0 nos últimos anos (Figura 2). Essa tendência sugere um crescente interesse e reconhecimento desses temas, refletindo-se na quantidade de estudos publicados. A seleção da amostra de 27 artigos (Tabela 1) relevantes abrangendo o período de 2020 a 2023, com enfoque nos estudos mais recentes. Esses dados sugerem que há uma produção acadêmica ativa e atualizada nessas áreas, reforçando a relevância e interesse contínuo nos temas de LSS e I4.0.

Figura 2 – Análise temporal de artigos localizados em cada ano



Fonte: Autores.

Importante mencionar que considerando o erro amostral de 5% e nível de confiança de 90% definidos na metodologia, para o tamanho da população de 42, obteve-se o número amostral de aproximadamente 27 artigos, que foram analisados na etapa qualitativa que será abordada a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 - Portfólio de trabalhos selecionados contendo as principais informações (Autores, Título e Ano)

Autores	Título	Ano
Abbes N; Sejri N; Xu J; Cheikhrouhou M	New lean six sigma readiness assessment model using fuzzy logic case study within clothing industry	2022
Antony J; Mcdermott O; Powell D; Sony M	The evolution and future of lean six sigma 4.0	2023
Bhat V; Bhat S; Gijo E	Simulation based lean six sigma for industry 4.0 an action research in the process industry	2021
Chiarini A; Kumar M	Lean six sigma and industry 4.0 integration for operational excellence evidence from Italian manufacturing companies	2021
Clancy R; Bruton K; O'sullivan D; Cloonan A	The hydapi framework a versatile tool integrating lean six sigma and digitalisation for improved quality management in industry 4.0	2022
Ganjavi N; Fazlollahtabar H	Integrated sustainable production value measurement model based on lean and six sigma in industry 4.0 context	2023
Kaswan M;Rathi R; Cross J; Garza-Reyes J; Antony J; Yadav V	Integrating green lean six sigma and industry 4.0: a conceptual framework	2023

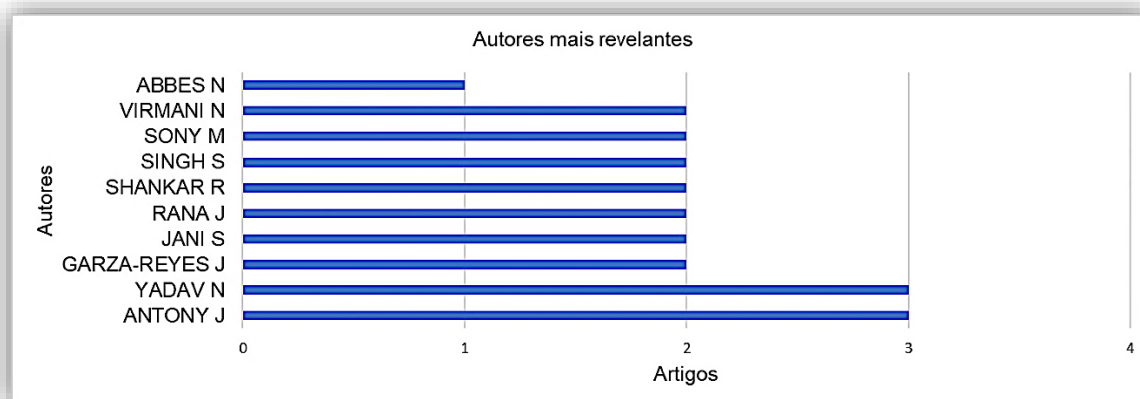
Khanzode A; Sarma P; Goswami M	Modelling interactions of select enablers of lean six sigma considering sustainability implications an integrated circular economy and industry 4.0 perspective	2021
Kumar P; Brar P; Singh D; Bhamu J	Fuzzy ahp approach for barriers to implement lss in the context of industry 4.0	2022
Letchumanan L; Gholami H; Yusof N; Ngadiman N; Salameh A; Štreimikienė D; Cavallaro F	Analyzing the factors enabling green lean six sigma implementation in the industry 4.0 era	2022
Lin P; Chen K; Cheng C; Su W; Lu L	The academic development trajectories of the lean production based on main path analysis method	2022
Liu C; Zhang Y	Advances and hotspots analysis of value stream mapping using bibliometrics	2023
Panayiotou N; Stergiou K	Development of a retail supply chain process reference model incorporating lean six sigma initiatives	2023
Pongboonchai-Empl T; Antony J; Garza-Reyes J; Komkowski T; Tortorella G	Integration of industry 4.0 technologies into lean six sigma DMAIC: a systematic review	2023
Rana J; Jani S	Enhancing sustainable supply chain performance by adopting sustainable lean six sigma industry 4.0 practices	2023
Rana J; Jani S	An integrated industry 4.0 sustainable lean six sigma framework to improve supply chain performance a decision support study from covid19 lessons	2023
Rodriguez D R; Medini K; Wuest T	A dmaic framework to improve quality and sustainability in additive manufacturing: a case study	2022
Samanta M; Virmani N; Singh R; Haque S; J amshed M	Analysis of critical success factors for successful integration of lean six sigma and industry 4.0 for organizational excellence	2023
Singh P; Maheswaran R; Virmani N; Raut R; Muduli K	Prioritizing the solutions to overcome lean six sigma 4.0 challenges in smes a contemporary research framework to enhance business operations	2023
Sony M	Design of cyber physical system architecture for industry 4.0 through lean six sigma conceptual foundations and research issues	2020
Tay H; Loh H	Digital transformations and supply chain management a lean six sigma perspective	2022
Tripathi V; Chattopadhyaya S; Mukhopadhyay A; Sharma S; Singh J; Pimenov D; Giasin K	An innovative agile model of smart lean green approach for sustainability enhancement in industry 4.0	2021
Vinodh S; Shimray S	Analysis of barriers for implementation of integrated lean six sigma and industry 4.0 using interpretive ranking process	2022
Wang F; Rahardjo B; Rovira P	Lean six sigma with value stream mapping in industry 4.0 for human-centered workstation design	2022
Yadav N; Al O A	Comparing viewpoints of top management consultants and employees about lean six sigma	2022

Yadav N; Shankar R; Singh S	Impact of industry4.0/ icts, lean six sigma and quality management systems on organizational performance	2020
Yadav N; Shankar R; Singh S	Critical success factors for lean six sigma in quality 4.0	2021

Fonte: Autores.

Em relação à autoria dos artigos (Tabela 1) obteve-se um total 82 autores, onde somente 1 artigo possui autoria individual. Como observado na Figura 3, é perceptível que alguns autores contribuíram com múltiplos trabalhos. Os autores "Yadav N" e "Antony J" são os principais contribuintes na área de pesquisa sobre Lean Six Sigma e Indústria 4.0. Yadav N aborda diversos aspectos da implementação do Lean Six Sigma em ambientes tecnológicos, investigando o impacto e os fatores críticos de sucesso. Antony J concentra-se na evolução do Lean Six Sigma 4.0 e sua integração com a Indústria 4.0.

Figura 3 – Distribuição de autores mais relevantes



Fonte: Autores.

Considerando os periódicos mais relevantes, de acordo com a metodologia utilizada nesse estudo, o "*TQM Journal*" se destaca com o maior número de artigos publicados (5). No entanto, seu *Cite Score* de 6,7 sugere um impacto moderado em comparação com outros periódicos. Cita-se o periódico "*Production Planning and Control*" que possui três artigos publicados e um *Cite Score* de 12,8, indicando uma alta taxa de citação e maior relevância acadêmica. Além disso, seu *Journal Impact Factor* de 6,8 sugere uma boa posição perante comunidade científica.

É importante notar que alguns periódicos, como "*Sustainability (Switzerland)*" e "*Management of Environmental Quality: An International Journal*", não possuem

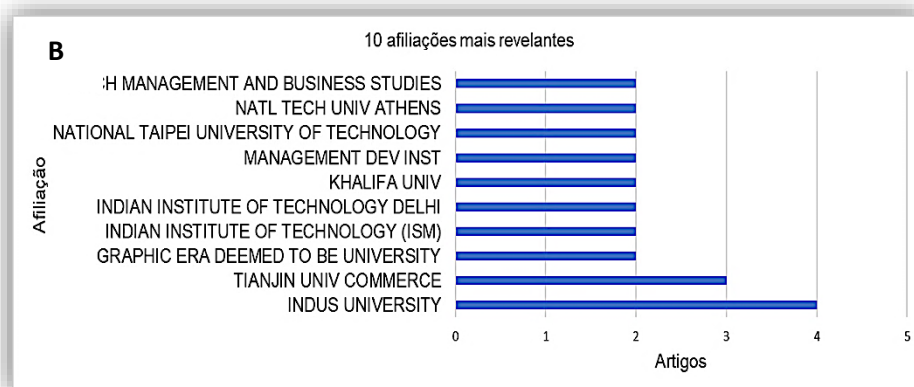
informações disponíveis sobre o *Journal Impact Factor*, entretanto, para o cálculo e análise de Qualis Capes, somente o dado disponível e de maior valor que foi considerado (Tabela 2). Assim, a distribuição de publicações por periódico é influenciada pela recorrência das edições, taxas de submissão e abrangência das publicações aceitas. Os periódicos "*TQM Journal*" e "*Production Planning and Control*", listados no topo da Tabela 2, publicam em média 7 e 16 edições por ano, respectivamente, sem obrigatoriedade de taxa de submissão. Ambos possuem uma abrangência específica relacionada ao presente estudo, o que explica seu alto número de publicações. O "*TQM Journal*" se destaca por ter um maior enfoque nos aspectos "*hard*" e "*soft*" do TQM, enquanto o "*Production Planning and Control*" abrange a gestão de operações em várias indústrias. Por outro lado, o "*Alexandria Engineering Journal*" possui uma taxa fixa para submissão e uma abrangência mais ampla, abrangendo estudos de engenharia e ciência aplicada, o que pode resultar em menos contribuições em números de artigos.

Tabela 2 – Apresentação dos resultados dos 10 periódicos mais relevantes em termos de número de artigos com seus respectivos dados de fator de impacto.

Periódico	Número de Artigos	Cite Score (Scopus)	Journal Impact Factor (WoS)
TQM Journal	4	6,7	N/A
Production Planning and Control	3	12,8	6,8
International Journal of Lean Six Sigma	3	8,8	5,7
Sustainability (Switzerland)	3	5,8	N/A
Journal of Manufacturing Technology Management	2	15,7	8,1
Alexandria Engineering Journal	1	9,1	6,6
Management of Environmental Quality: An International Journal	1	8,6	N/A
Ieee Transactions on Engineering Management	1	7,6	8,7
Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity	1	7,5	N/A
International Journal of Productivity and Performance Management	1	6,3	N/A
TOTAL	27		

Fonte: Autores, dados retirados do site *Scopus* e *JCR* em junho de 2023.

A análise também revela que a Índia é a região com o maior número de artigos publicados (14). Em seguida, a China com seis, seguida pela França e Irlanda, com três cada (Figura 4a). Isso relaciona-se quando observada as afiliações (Núcleos de Pesquisa) dos autores, onde a *Indus University* lidera com quatro trabalhos publicados, seguida pela *Tianjin University of Commerce*, *Graphic Era Deemed to be University* e *Indian Institute of Technology (ISM)*, todas com três artigos cada.



Fonte: Autores.

Ao analisar os dados sobre número de citações (Figura 5), observa-se que o artigo de Chiarini *et al.* (2021) publicado no periódico "*Production Planning and Control*" recebeu o maior número de citações (74), seguido pelo artigo de Yadav *et al.* (2020) publicado no periódico "*TQM Journal*", com 50 citações. Nota-se que esses artigos foram publicados em periódicos com um bom desempenho em termos de *Cite Score* (Scopus) e *Journal Impact Factor* (WoS). O periódico "*Production Planning and Control*" possui um *Cite Score* de 12,8 e um *Journal Impact Factor* de 6,8, enquanto o "*TQM Journal*" possui um *Cite Score* de 6,7.

Destaca-se que o ano de 2023 ainda não findou, portanto, os artigos publicados nesse ano têm um menor número de citações, uma vez que ainda não tiveram tempo suficiente para serem amplamente disseminados e reconhecidos pela comunidade acadêmica. Entretanto, ao analisar o artigo de Antony (2023), nota-se que esta publicação já recebeu um número considerável de citações (15). Isso merece destaque e pode indicar a relevância e o impacto rápido desse trabalho e área de pesquisa.

Figura 5 – As primeiras 10 publicações mais citadas da amostra



Fonte: Autores.

A nuvem de palavras na Figura 6 revelou as palavras-chave mais utilizadas pelos autores e apontou para temas potenciais relacionados ao LSS aplicado na I4.0. As mais frequentes foram "*industry 4.0*" (10), "*lean production*" (10), "*six sigma*" (9), "*process monitoring*" (8) e "*work simplification*" (8). Esses termos indicam a importância dada à integração e aplicação de práticas enxutas na produção. Além disso, a presença de palavras como "*implementation*" (5), "*sustainable development*" (5), "*embedded systems*" (3), "*framework*" (3) e "*management*" (3) sugere a necessidade de explorar temas relacionados à implementação dessas práticas, o desenvolvimento sustentável na I4.0, a integração de sistemas embarcados e o gerenciamento de processos.

Outros temas potenciais que podem ser explorados incluem a utilização de *big data* (2) e análise de dados (*data analytics*) (2), a melhoria da cadeia de suprimentos (*supply chain management*) (2), o papel dos gerentes e líderes na implementação do LSS, e a aplicação de metodologias ágeis e inteligência artificial.

Figura 6 – Nuvem de palavras elaborada com as palavras-chave mais utilizadas pelos autores descritos no estudo.

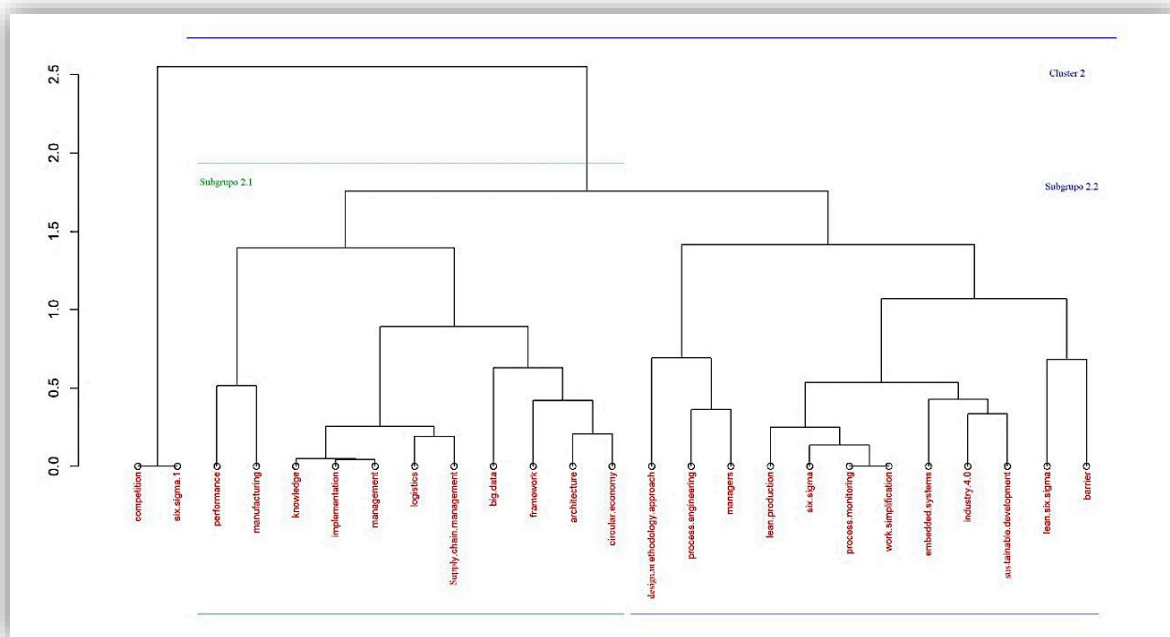


Fonte: Autores.

Com base nos dados do dendograma formado na Figura 7, pode-se que observar no grupo principal, existem dois clusters principais: o Cluster 1, composto por "*competition*" e "*six.sigma*", e o Cluster 2, com os demais termos. No Cluster 2, há uma subdivisão em dois subgrupos principais: o Subgrupo 2.1, composto por termos relacionados à implementação, estrutura, gestão e logística, e o Subgrupo 2.2, que engloba termos relacionados à I4.0, LSS e desenvolvimento sustentável. Em relação

à proximidade do LSS e I4.0, pode-se observar que ambos estão presentes no Subgrupo 2.2, juntamente com outros termos relacionados, como "*lean.production*", "*work.simplification*" e "*embedded.systems*". Isso indica uma associação próxima entre o LSS e I4.0 dentro desse subgrupo. Com o exposto, o LSS e a I4.0 estão agrupados no mesmo subgrupo, indicando uma proximidade e associação entre esses conceitos. Isso sugere que essas abordagens são complementares e utilizadas em conjunto para melhorar a eficiência e a qualidade dos processos industriais.

Figura 7 – Dendograma de proximidade dos termos.



Fonte: Autores.

3.1 Análise Qualitativa do *Portfólio* Final

A integração do Lean Six Sigma (LSS) com a Indústria 4.0 (I4.0) é um tema de crescente interesse e relevância no contexto da melhoria contínua e da transformação digital nas indústrias. Na análise SWOT resumida no Quadro 1 e discutido abaixo, exploraremos os pontos fortes, oportunidades, fraquezas e ameaças relacionadas a essa abordagem inovadora, com base nos estudos do nosso portfólio.

Quadro 1 – Análise SWOT qualitativa

Pontos Fortes (S)	Oportunidades (W)	Fraquezas (O)	Ameaças (T)
Eficiência operacional (Antony, 2023)	Melhoria contínua (Antony, 2023)	Barreiras de implementação (Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Comprometimento da produtividade (Kumar <i>et al.</i> , 2022)
Redução de defeitos (Abbes <i>et al.</i> , 2022)	Integração com I4.0 (Antony, 2023)	Falta de liderança (Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Falhas de implementação (Vinodh e Shimray, 2022)
Sinergia LSS e I4.0 (Antony, 2023)	Frameworks inovadores (Clancy <i>et al.</i> , 2022)	Falta de clareza (Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Não adoção efetiva do LSS (Vinodh e Shimray, 2022)
	Sustentabilidade organizacional (Ganjavi e Fazlollahtabar, 2023)	Integração com tecnologias inteligentes/I4.0 (Kumar <i>et al.</i> , 2022)	Falta de alinhamento entre percepções dos stakeholders (Yadav e AI, 2022)
	Melhoria da cadeia de suprimentos (Rana e Jani, 2023)		Desalinhamento das percepções dos stakeholders (Yadav e AI, 2022)

Fonte: Autores.

Um dos pontos fortes identificados pelos estudos é o potencial do LSS aplicado na I4.0 para melhorar a eficiência operacional e reduzir defeitos na linha de produção. Abbes *et al.* (2022) propõem um modelo inovador que utiliza lógica fuzzy para avaliar a prontidão da indústria de vestuário para a implementação do LSS, buscando aperfeiçoar o processo produtivo. Antony (2023) destaca os benefícios e fatores críticos de sucesso da integração do LSS e I4.0, enfatizando a necessidade de ferramentas de mapeamento reinventadas e integração horizontal e vertical para alcançar resultados efetivos da I4.0.

As oportunidades também são expressivas nessa integração. Os estudos de Ganjavi e Fazlollahtabar (2023) e Kaswan (2023) apresentam frameworks para integrar o Green Lean Six Sigma (GLSS) com a I4.0, visando aprimorar a sustentabilidade organizacional e reduzir emissões. Rana e Jani (2023) propõem frameworks baseados em I4.0-SLSS (Lean Six Sigma Sustentável) para melhorar o desempenho das cadeias de suprimentos. A pesquisa de Samanta *et al.* (2023) analisa os fatores críticos de sucesso na integração do LSS com a I4.0, fornecendo insights valiosos para uma implementação bem-sucedida.

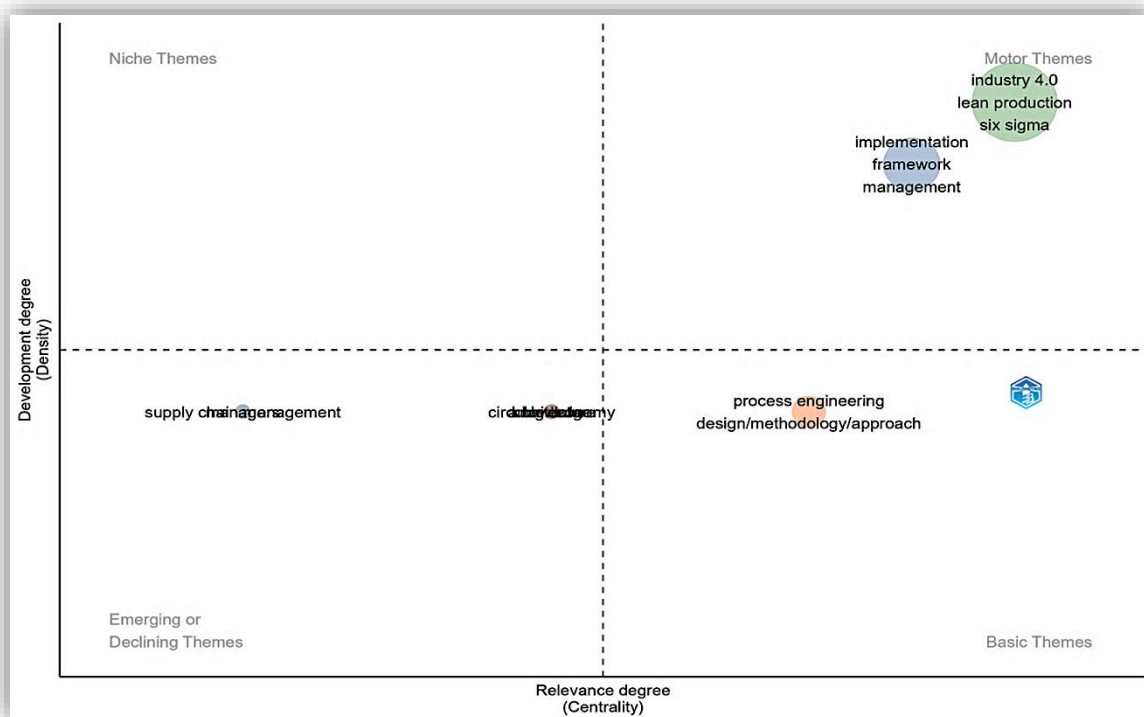
Entretanto, a implementação do LSS na I4.0 também enfrenta desafios e fraquezas. Kumar *et al.* (2022) e Vinodh e Shimray (2022) identificaram barreiras na adoção do LSS em indústrias de manufatura, como a falta de liderança e clareza sobre benefícios econômicos e integração com tecnologias inteligentes. Superar essas

fraquezas é crucial para garantir uma implementação bem-sucedida do LSS no contexto da I4.0.

Quanto às ameaças, é importante destacar que a não adoção efetiva do LSS pode comprometer a melhoria da produtividade e a redução do tempo de produção nas indústrias (Khanzode; Sarma; Goswami, 2021). Além disso, a falta de alinhamento entre as percepções dos stakeholders sobre o LSS pode resultar em falhas de implementação (Yadav; Al, 2022). A falta de integração adequada da qualidade 4.0 com o LSS também pode ameaçar o desempenho organizacional (Yadav, Shankar e Singh, 2020).

Ao continuar a análise dos dados obtidos o mapa temático (*Thematic Map*) gerado no *Bibliometrix* revela os temas mais explorados do *portfólio* aqui analisado (Figura 8), e os dados ampliados utilizados para gerar esse mapa encontram-se na Tabela 3 a seguir.

Figura 8 – Mapa Temático



Fonte: Autores.

Tabela 3 – Dados referentes aos 10 periódicos mais relevantes na pesquisa

Occurrences	Words	Cluster	Cluster_Label	btw_centrality	clos_centrality	pagerank_centrality
2	Knowledge	1	Knowledge	166,14409	0,00262	0,00625
5	Implementation	2	Implementation	919,94017	0,00353	0,01668
3	Framework	2	Implementation	1032,43001	0,00347	0,01159
3	Management	2	Implementation	189,00786	0,00328	0,00953
3	Performance	2	Implementation	485,00440	0,00344	0,01103
2	Logistics	2	Implementation	72,77924	0,00266	0,00598
10	Industry 4.0	3	Industry 4.0	1791,05661	0,00435	0,03678
10	Lean Production	3	Industry 4.0	2324,60554	0,00465	0,03927
9	Six Sigma	3	Industry 4.0	1262,19810	0,00433	0,03588
8	Process Monitoring	3	Industry 4.0	912,00975	0,00397	0,03216
8	Work Simplification	3	Industry 4.0	912,00975	0,00397	0,03216
5	Lean Six Sigma	3	Industry 4.0	402,85777	0,00361	0,02028
5	Sustainable Development	3	Industry 4.0	1122,66714	0,00316	0,01769
3	Embedded Systems	3	Industry 4.0	300,13793	0,00337	0,01248
2	Barrier	3	Industry 4.0	47,95239	0,00292	0,00824
2	Competition	3	Industry 4.0	47,93824	0,00281	0,00908
2	Manufacturing	3	Industry 4.0	661,28633	0,00332	0,00836
2	Six-Sigma	3	Industry 4.0	47,93824	0,00281	0,00908
2	Supply Chain Management	4	Supply Chain Management	156,17269	0,00270	0,00712
3	Process Engineering	5	Process Engineering	173,90533	0,00292	0,01245
2	Design/Methodology/Approach	5	Process Engineering	246,37505	0,00332	0,00874
2	Big Data	6	Big Data	116,45958	0,00300	0,00693
2	Architecture	7	Architecture	128,77085	0,00333	0,00752
2	Circular Economy	8	Circular Economy	307,46362	0,00347	0,00739
2	Managers	9	Managers	37,02350	0,00276	0,00828

Fonte: Autores, dados retirados do *Bibliometrix* em junho de 2023.

Ao observar a Figura 8 e Tabela 3 o tema "*industry 4.0*" é proeminente, indicando um grande número de pesquisas e interações entre artigos. Os temas principais "*lean production*" e "*six sigma*", demonstram sua relevância na aplicação do LSS na I4.0. A partir do termo "*Implementation*" nota-se que a prática desses conceitos

é um tema ativo de pesquisa. Outros temas como "*process engineering*", "*big data*", "*architecture*" e "*circular economy*", são explorados, mas em menor grau, sugerindo áreas para pesquisas futuras. Temas como "*knowledge*", "*supply chain management*" e "*managers*", são menos explorados, mas oferecem oportunidades promissoras para investigações mais aprofundadas sobre sua influência na aplicação bem-sucedida do *Lean Seis Sigma* na indústria 4.0.

4 CONSIDERAÇÕES

No presente estudo, buscou-se analisar a evolução da produção acadêmica acerca da integração das práticas de *Lean Seis Sigma* em processos no contexto da Indústria 4.0, utilizando uma abordagem bibliométrica para identificar e mapear a publicação de artigos e analisar indicadores científicos relevantes. Ao final desta pesquisa, foi possível abordar algumas considerações assertivas e concisas que retomam os principais pontos e apontam direções para futuros estudos.

Revelou-se um aumento significativo na produção acadêmica sobre a integração do LSS na I4.0, indicando o crescente interesse dos pesquisadores a partir de 2020. Dentre os 27 artigos selecionados, foram encontradas diversas abordagens e tópicos de pesquisa. Alguns estudos propuseram modelos inovadores, como o uso de lógica *fuzzy* para avaliar a prontidão da indústria de vestuário para a implementação do LSS. Outros exploraram a relação sinérgica entre LSS e I4.0, destacando benefícios, motivações, fatores críticos de sucesso e desafios dessa integração. Também foram encontrados estudos que abordaram a aplicabilidade na automação da indústria, *frameworks* para integrar o *Green LSS* e a I4.0, e a melhoria do desempenho das cadeias de suprimentos por meio do LSS.

Além disso, foram encontrados estudos sobre a produção enxuta, o *Value Stream Mapping* (VSM) e integração do LSS com diferentes tecnologias da I4.0, como mineração de dados, aprendizado de máquina e IoT. Também foram abordados desafios, soluções e fatores críticos de sucesso na implementação do LSS. Esses resultados destacam a diversidade de pesquisas realizadas na área, abrangendo diferentes setores e aspectos da gestão de processos e qualidade. Observa-se que a maioria dos artigos se concentra nas áreas de gestão da qualidade, melhoria de processos, automação industrial e tecnologias emergentes.

Diante dessas constatações, é recomendado que futuras pesquisas se concentrem em aprofundar a compreensão dos benefícios, desafios e melhores práticas associados à integração do LSS na I4.0. Estudos que explorem casos reais de implementação e avaliem os impactos das tecnologias da I4.0 nas práticas de LSS são essenciais para avançar nessa área de pesquisa. Também é fundamental considerar os aspectos humanos e organizacionais envolvidos nessa integração. Pesquisas que investiguem a capacitação dos funcionários, o envolvimento da liderança, a cultura organizacional e as mudanças nas práticas de trabalho para garantir a efetividade dessa combinação.

Ademais, com os bancos de dados adotados na metodologia, notou-se uma lacuna de pesquisas nacionais, dessa forma, se destaca a oportunidade de explorar fontes de informação adicionais e repositórios acadêmicos diversos, como o Google Acadêmico, para obter uma visão mais abrangente da pesquisa nacional sobre o tema.

Por fim, esse estudo proporcionou *insights* importantes sobre a evolução da produção acadêmica acerca da integração das práticas de *Lean Six Sigma* em processos no contexto da Indústria 4.0. Espera-se que essas informações sejam úteis para pesquisadores, profissionais e gestores interessados em explorar as oportunidades aqui destacadas e que estimulem novos estudos para impulsionar a eficiência e a qualidade nos processos de produção.

AGRADECIMENTOS

EDITAL FAPES No 06/2021 BOLSA PESQUISADOR CAPIXABA – BPC.

REFERÊNCIAS

- ABBES, N.; SEJRI, N.; XU, J.; CHEIKHROUHOU, M. New lean Six Sigma readiness assessment model using fuzzy logic: Case study within the clothing industry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 61, p. 9079-9094, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016822001429?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-19, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ANTONY, J.; MCDERMOTT, O.; POWELL, D.; SONY, M. The evolution and future of lean Six Sigma 4.0. **TQM Journal**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2022-0135>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada Às Ciências Sociais**. 7 ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2007. Disponível em: https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/estatisca_aplicada_edicao_0.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.

BHAT, V.; BHAT, S.; GIJO, E. Simulation-Based Lean Six Sigma for Industry 4.0: An Action Research in the Process Industry. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 38, n. 5, p. 1215-1245, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2020-0167>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CHIARINI, A.; KUMAR, M. Lean Six Sigma and Industry 4.0 integration for operational excellence: Evidence from Italian manufacturing companies. **Production Planning & Control**, v. 32, n. 13, p. 1084-1101, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784485>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CLANCY, R.; BRUTON, K.; O'SULLIVAN, D.; CLOONAN, A. The HYDAPI Framework: A Versatile Tool Integrating Lean Six Sigma and Digitalisation for Improved Quality Management in Industry 4.0. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2021-0214>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CONSTANTINESCU, C. L.; FRANCALANZA, E.; MATARAZZO, D.; BALKAN, O. Information support and interactive planning in the digital factory: Approach and industry-driven evaluation. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL ENTERPRISE TECHNOLOGY, 8., Anais [...], 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.038>. Acesso em: 18 jun. 2023.

DUPONT, W. D.; PLUMMER, W. D. Power and sample size calculations: a review and computer program. **Controlled clinical trials**, v. 11, n. 2, p. 116-128, 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(90\)90005-M](https://doi.org/10.1016/0197-2456(90)90005-M). Acesso em: 18 jun. 2023.

ECKERT, A. **Antecedentes da intenção de recompra dos consumidores no contexto de compras On-Line**. Universidade de Caxias do Sul, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/1145>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ENDLER, K. D.; BOURSCHEIDT, L. E.; SCARPIN, C. T.; ARNS STEINER, M. T.; & DA ROSA GARBUIO, P. A. Lean seis sigma: uma contribuição bibliométrica dos últimos 15 anos. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 575–605, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i2.2023>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ERBIYIK, H.; SARU, M. Six Sigma Implementations in Supply Chain: An Application for an Automotive Subsidiary Industry in Bursa in Turkey. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 195, p. 2556– 2565, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.447>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GANEBNYKH, E.; LEZHINA, O.; ZHILKINA, T. Personnel resistibility in lean manufacturing. **E3S Web of Conferences**, v. 164, EDP Sciences, No. 10033, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016410033>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GANJAVI, N.; FAZLOLLAHTABAR, H. Integrated sustainable production value measurement model based on lean and Six Sigma in Industry 4.0 context. *In: IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, v. 70, n. 1, **Anais [...]**, p. 1150-1170, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2021.3078169>. Acesso em: 18 jun. 2023.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *In: SYSTEM SCIENCES (HICSS), HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON*, 49., IEEE, 2016. p. 3928-3937. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>. Acesso em: 18 jun. 2023.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**: Final report of the Industrie 4.0 working group. Forschungsunion, 2013. Disponível em: <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KASWAN, M.; RATHI, R.; CROSS, J.; GARZA-REYES, J.; ANTONY, J.; YADAV, V. Integrating Green Lean Six Sigma and Industry 4.0: A Conceptual Framework. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 34, n. 1, p. 87-121, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/JMTM-03-2022-0115>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KHANZODE, A.; SARMA, P.; GOSWAMI, M. Modelling interactions of select enablers of lean Six Sigma considering sustainability implications: an integrated circular economy and Industry 4.0 perspective. **Production Planning and Control**, v. 32, n. 2-3, p. 2320-2333, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2021.1980908>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KOMKOWSKI, T; ANTONY, J; GARZA-REYES, JA; TORTORELLA, GL & PONGBOONCHAI-EMPL, T. The integration of Industry 4.0 and Lean Management: a systematic review and constituting elements perspective. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 34, n. 7-8, p. 1052-1069. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2141107>. Acesso em: 02 jul. 2023.

KUMAR, P.; BRAR, P.; SINGH, D.; BHAMU, J. Fuzzy AHP approach for barriers to implement LSS in the context of Industry 4.0. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 8, n. 1, p. 70, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJPPM-12-2021-0715>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KÜPPER, D.; HEIDEMANN, A.; STRÖHLE, J.; KNIZEK, C. e SPINDELNDREIER, D. **When Lean Meets Industry 4.0: The Next Level of Operational Excellence**. Boston Consulting Group, 2017. Disponível em: <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0>. Acesso em: 16 jan. 2023.

LETCHUMANAN, L. GHOLAMI, H.; YUSOF, N.; NGADIMAN, N.; SALAMEH, A.; ŠTREIMIKIENĖ, D.; CAVALLARO, F. Analyzing the Factors Enabling Green Lean Six Sigma Implementation in the Industry 4.0 Era. **Sustainability**, v. 14, n. 6, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su14063450>. Acesso em: 18 jun. 2023.

LIN, P.; CHEN, K.; CHENG, C.; SU, W.; LU, L. The academic development trajectories of lean production based on main path analysis method. **Processes**, v. 10, n. 8, p. 1495, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr10081495>. Acesso em: 18 jun. 2023.

LIU, C.; ZHANG, Y. Advances and hotspots analysis of value stream mapping using bibliometrics. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, p. 190-208, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-12-2021-0219>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MÜLLER, J. M. *et al.* What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 2, p. 247, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su10010247>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PANAYIOTOU, N.; STERGIOU, K. Development of a retail supply chain process reference model incorporating lean Six Sigma initiatives. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, p. 209-251, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-04-2021-0079>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PONGBOONCHAI-EMPL, T.; ANTONY, J.; GARZA-REYES, J.; KOMKOWSKI, T.; TORTORELLA, G. Integration of Industry 4.0 Technologies into Lean Six Sigma DMAIC: A Systematic Review. **Production Planning & Control**, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2023.2188496>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RANA, J.; JANI, S. An Integrated Industry 4.0 Sustainable Lean Six Sigma Framework to Improve Supply Chain Performance: A Decision Support Study from COVID-19 Lessons. **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, v. 16, n. 2, p. 430-455, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/JGOSS-04-2022-0032>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RANA, J.; JANI, S. Enhancing sustainable supply chain performance by adopting sustainable lean Six Sigma Industry 4.0 practices. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 34, n. 4, p. 1198-1221, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/MEQ-04-2022-0122>. Acesso em: 18 jun. 2023.

REIS, D. A.; ESPERIDIÃO, F.; JORGE, M. A.; RIBEIRO, L. C. S.; MOTA, T. S.; SANTOS, J. C. N.; SILVA, A. T.. Estudo bibliométrico da produção científica nacional e internacional no setor de saneamento. **Revista GEINTEC**. V. 7, n. 1, p.3669-3685,

Aracaju, 2017. Disponível em: <https://revistageintec.net/old/wp-content/uploads/2022/03/p-3669-3685.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RODRIGUEZ, D. R.; MEDINI, K.; WUEST, T. A DMAIC framework to improve quality and sustainability in additive manufacturing: A case study. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 581, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su14010581>. Acesso em: 18 jun. 2023.

RUBEN, R. B. *et al.* Lean Six Sigma with environmental focus: review and framework. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, n. 9, p. 4023-4037, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-017-1148-6>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SAMANTA, M.; VIRMANI, N.; SINGH, R.; HAQUE, S.; JAMSHED, M. Analysis of critical success factors for successful integration of lean Six Sigma and Industry 4.0 for organizational excellence. **TQM Journal**, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0215>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SILVA ZÁRATE, O. A. **Implementation Method of Lean Six Sigma Based on Toyota Kata approach**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198372>. Acesso em: 16 jan. 2023.

SINGH, P.; MAHESWARAN, R.; VIRMANI, N.; RAUT, R.; MUDULI, K. Prioritizing the Solutions to Overcome Lean Six Sigma 4.0 Challenges in SMEs: A Contemporary Research Framework to Enhance Business Operations. **Sustainability**, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su15043371>. Acesso em: 18 jun. 2023.

SONY, M. Design of cyber physical system architecture for industry 4.0 through lean six sigma: conceptual foundations and research issues. **Production & Manufacturing Research**, v. 8, n. 1, p. 158-181, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21693277.2020.1774814>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SONY, M. Design of cyber-physical system architecture for Industry 4.0 through lean Six Sigma: conceptual foundations and research issues. **Production and Manufacturing Research**, v. 1, n. 1, p. 8, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21693277.2020.1774814>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SORDAN, J. E. Análise dos pontos de convergência entre tecnologias da Indústria 4.0 e práticas Lean Seis Sigma em processos de manufatura: um estudo multicasos. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13370>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SREEDHARAN, V. R. *et al.* Critical success factors of TQM, Six Sigma, Lean and Lean Six Sigma: A literature review and key findings. **Benchmarking: An International Journal**, v. 25, n. 9, p. 3479-3504, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2017-0223>. Acesso em: 20 jan. 2023.

TARDIO, P. R., NARA, E. O. B., & SCHAEFER, J. L. Uma análise bibliométrica sobre as relações entre a utilização das ferramentas Lean e as tecnologias 4.0 sobre o processo de desenvolvimento de produtos. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 88–98, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40144>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TAY, H.; LOH, H. Digital transformations and supply chain management: A lean Six Sigma perspective. **Journal of Asia Business Studies**, v. 2, p. 340-353, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/JABS-10-2020-0415>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TITMARSH, R.; ASSAD, F.; HARRISON, R. Contributions of lean six sigma to sustainable manufacturing requirements: an industry 4.0 perspective. **Procedia CIRP**, v. 90, p. 589–593, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.044>. Acesso em: 18 jun. 2023.

TRIPATHI, V. *et al.* An innovative agile model of smart lean-green approach for sustainability enhancement in Industry 4.0. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 7, n. 4, p. 7, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/joitmc7040215>. Acesso em: 18 jun. 2023.

VINODH, S.; SHIMRAY, S. Analysis of Barriers for Implementation of Integrated Lean Six Sigma and Industry 4.0 Using Interpretive Ranking Process. **TQM Journal**, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-04-2022-0121>. Acesso em: 18 jun. 2023.

WANG, F.; RAHARDJO, B.; ROVIRA, P. Lean Six Sigma with Value Stream Mapping in Industry 4.0 for Human-Centered Workstation Design. **Sustainability**, v. 14, n. 17, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su141711020>. Acesso em: 18 jun. 2023.

YADAV, N.; AL O, A. Comparing viewpoints of top management consultants and employees about lean Six Sigma. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 6, p. 158-181, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/JMTM-12-2021-0497>. Acesso em: 18 jun. 2023.

YADAV, N.; SHANKAR, R.; SINGH, S. 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. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJQSS-06-2020-0099>. Acesso em: 18 jun. 2023.

YADAV, N.; SHANKAR, R.; SINGH, S. Impact of Industry 4.0, ICTs, Lean Six Sigma, and Quality Management Systems on Organizational Performance. **TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 815-835, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/TQM-10-2019-0251>. Acesso em: 18 jun. 2023.

Biografia dos Autores

Gleiciane Pisoler

Possuo ensino medio segundo-grau pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo(2017). Estou como graduanda da Universidade Federal do Espírito Santo. Participei como bolsista de iniciação científica pelo CNPQ (2019), no Movimento Empresa Júnior como Assessora de Projetos da Projeta Júnior (2020), Estagiária de Processos e Analista Júnior de Processos da Kaizen Inteligência Comercial (2021).

Rodrigo Randow de Freitas

Atualmente Professor Adjunto do curso de Engenharia de Produção em regime de dedicação exclusiva da Universidade Federal do Espírito Santo no campus São Mateus, E.S. / UFES-CEUNES (2015). Doutor pelo programa de Pós-Graduação em Aquacultura pela Fundação Universidade Federal de Rio Grande (FURG) em 2011; Mestrado em Aquacultura pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006); Especialização em Educação e Gestão Ambiental (Faculdade Saberes - 2003); e Graduação em Administração de Empresas: ênfase em análise de sistemas (Faculdade de Ciências Humanas de Vitória - 2001). Experiência na área de Gestão Ambiental e Gerenciamento Costeiro, Gestão de processos e produtos, análise de cadeias produtivas e Planejamento Estratégico. Em especial para a área de Engenharia, destacam-se diversos artigos, resumos e projetos executados e em andamento, citemos por exemplo, os projetos: Produção de biomassa microalgal e extração de bio-óleo; Chamada CNPq/VALE 05/2012 -Forma-Engenharia; Chamada Pública MCTI/CNPq/SPMPR/Petrobrás 18/2013 - Meninas e Jovens/FAPES; Estudo de viabilidade econômica da pirólise de casca de macadamia, dentre outros.



Artigo recebido em: 27/07/2023 e aceito para publicação em: 17/03/2025

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i2.4960>