Anais do **Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO)** da EEL-USP

VII SAEPRO – 14 e 15 de junho de 2023

LEAN SYSTEMS E INDÚSTRIA 4.0 APLICADOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Nuno Miguel de Matos Torre

Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda-UFF
(nuno_torre@hotmail.com)

Cicero Leo

Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda-UFF
(ciceroleo@id.uff.br)

Andrei Bonamigo

Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda-UFF
(andreibonamigo@gmail.com)

Resumo

As organizações se encontram num mercado cada vez mais competitivo e globalizado, tornando-se de supra importância a identificação de estratégias para gerenciar os seus ativos. A metodologia *Lean System* é amplamente utilizada em ambientes industriais, concentrando-se em métodos que almejam a melhoria contínua. A Indústria 4.0 emergiu por meio de sistemas inteligentes que visam a digitalização de processos. A interação destas metodologias estabelece sinergias significativas, que podem contribuir significativamente para a sustentabilidade operacional das indústrias siderúrgicas. Nesse contexto, o objetivo geral este trabalho consiste em elaborar uma análise bibliométrica que que relacione as principais produções científicas do sistema *Lean Systems* e da Indústria 4.0, para o setor siderúrgico. Este artigo poderá servir de base aos investigadores de modo a poderem visualizar o impacto das metodologias da Industria 4.0 e do *Lean System* e das suas subsequentes aplicações para a indústria siderúrgica. Identificou-se elementos importantes como palavras-chave e documentos indexados na base de dados *Scopus*, onde se mapeou essas relações por meio do *software VOSviewer* e pacote *bibliometrix* do programa R. Como principais resultados, destaca-se a elaboração de uma análise bibliométrica, almejando demonstrar o panorama de publicações de acordo com o tema proposto.

Palavras-chave: *Lean Systems*, Indústria 4.0, Indústria Siderúrgica, Análise Bibliométrica.

Abstract

Organizations face an increasingly competitive and globalized market, and identifying strategies to manage their assets becomes extremely important. Lean System methodology is widely used in industrial environments, focusing on methods that seek continuous improvement. Industry 4.0 has emerged through intelligent systems seeking the digitalization of processes. The interaction of these methodologies establishes significant synergies, which can significantly contribute to the operational sustainability of steel industries. In this context, the general purpose of this research is to elaborate a bibliometric analysis that contemplates and correlates the main scientific productions involving Lean Systems and Industry 4.0 for the steel industry. This paper can provide support for researchers allowing visualization of the impact of Industry 4.0, and Lean System methodologies and their subsequent applications for the steel industry. Significant elements were identified, like keywords and documents indexed in the Scopus database, where relationships between them were mapped using the VOSviewer software and R package called bibliometrix. As the main results, we highlight the creation of bibliometric analysis, aiming to demonstrate the panorama of publications according to the proposed theme.

Keywords: Lean Systems, Industry 4.0, Steel Industry, Bibliometric Analysis.

1. INTRODUÇÃO

Grabowska e Saniuk (2022) argumentam que as organizações enfrentam cenários que abrangem a possibilidade da ocorrência de crises econômicas, elevada concorrência, globalização, e mudanças tecnológicas. Assim sendo, se faz necessário a implementação de sistema de gestão inovadores de modo a poder promover um aumento da competitividade, eficiência e competitividade operacional.

Ao longo das últimas décadas, as empresas têm se esforçado para proporcionar um aumento da qualidade e variedade dos seus produtos, assim como melhorar as condições de trabalho e satisfação dos clientes, procurando sempre minimizar os custos de produção. A sustentabilidade e eficiência dos processos no setor de produtivo se

tornaram fatores de extrema importância para a sobrevivência das organizações (NEDJWA; BERTRAND; BOUDEMAGH, 2022).

De acordo com Shanmugam *et al*. (2021) as empresas siderúrgicas são indústrias tecnologicamente complexas e desempenham um papel vital para o desenvolvimento de um país, sendo responsáveis por cerca de 40 milhões de empregos em todo o mundo. O consumo per capita de aço é um dos indicadores mais fortes para o desenvolvimento económico em todo o país. Se torna fundamental este tipo de organizações manterem o seu foco na melhoria contínua dos seus processos, assim como em atividades de investigação e desenvolvimento dos seus produtos.

O desenvolvimento das organizações tem sido impulsionada pelas necessidades dos seus clientes, que cada vez mais exigem uma variedade de produtos personalizados, com alta qualidade e disponibilidade de mercado. A adaptação por parte das empresas para o fornecimento deste tipo de serviços se proporciona por meio da tecnologia, permitindo a inovação e flexibilidade dos seus processos (HERNANDEZ-DE-MENENDEZ; DÍAZ; MORALES-MENENDEZ, 2020).

Klašnja *et al.* (2019) referem que a metodologia *Lean Systems* adota medidas para aumentar a eficiência do setor produtivo, gerando valor para os clientes. A implementação deste sistema permitirá que as organizações alcancem vantagens como o aumento da produção, qualidade, funcionalidade, assim como dos fatores construtivos, tecnológicos e ecológicos associados ao produto final.

Para Bonamigo e Frech (2020) a metodologia da Industria 4.0 se encontra associada a sistemas industriais inteligentes. Por meio das novas tecnologias com base em coleta de dados, este tipo de sistemas possibilita o delineamento de estratégias por parte dos gestores, fazendo com que superem os seus obstáculos.

Existe um crescente movimento na interligação entre as metodologias *Lean System* e Industria 4.0, objetivando a optimização, eficiência, confiabilidade e competitividade operacional das organizações. A sinergia entre estes dois sistemas apresenta uma abordagem de engenharia interativa, projetando e simulando as indústrias do futuro (URIARTE; NG; MORIS, 2019).

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho consiste em elaborar uma análise bibliométrica que relacione as principais produções científicas do sistema *Lean Systems* e da Indústria 4.0, para o setor siderúrgico.

A questão de pesquisa proposta para este estudo se expressa: De que forma pode-se elaborar uma análise bibliométrica, contemplando os conceitos *Lean Systems* e Industria 4.0 correlacionados com a indústria siderúrgica? Para responder à questão de pesquisa, este estudo apresenta uma análise bibliométrica, que irá contribuir para o desenvolvimento de uma abordagem teórica para a integração das metodologias *Lean System* e Indústria 4.0 dentro das empresas siderúrgicas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *LEAN SYSTEM*

Yuik e Puvanasvaran (2020) referem que o sistema *Lean* teve sua origem no modelo *Toyota Production System*, tendo sido mais tarde popularizado pelo livro - A Máquina que Mudou o Mundo. O principal objetivo deste sistema é eliminar todas as atividades que não geram valor, sendo estas conhecidas como desperdício. Os três "inimigos" adversos à metodologia *Lean* são *Muda* (desperdício), *Mura* (desnível) e *Muri* (sobrecarga).

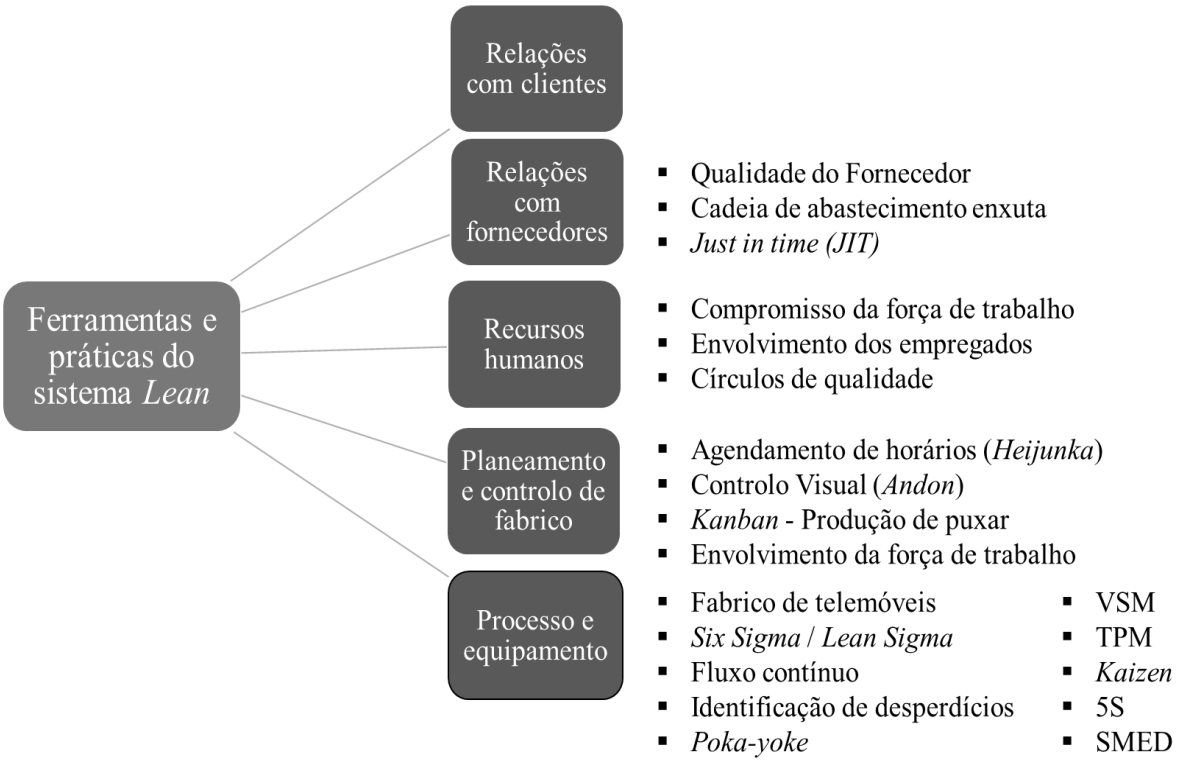
De acordo com Chen *et al*. (2019) a metodologia *Lean* possui como principal objetivo melhorar a performance operacional das organizações, incidindo sobre medidas como qualidade, inventários, prazos de entrega, mão-de-obra e produtividade. Esta metodologia atua sobre as causas de *Muda* (desperdício), que se define como tudo que não acrescenta valor para o cliente. Este sistema identificou sete tipos de *Muda*: sobre produção, processamento desnecessário ou sem valor, transporte e manuseamento de mercadorias desnecessários, pessoas ou peças "paradas", movimento desnecessário de empregados, excesso de inventários e produção defeituosa.

A Produção *Lean* é uma das iniciativas de melhoria que podem ser implementadas para atingir objetivos de excelência no setor industrial. Estudos recentes demonstram que

existem mais de 50 ferramentas e técnicas associadas à metodologia *Lean* que são amplamente utilizadas, dependendo das organizações. Assim sendo, se torna fundamental o gestor conhecer as ferramentas e técnicas associadas ao sistema *Lean* com base na natureza do negócio, almejando melhorar o desempenho operacional de uma organização (YAHYA *et al*., 2019).

Alefari, Salonitis e Xu (2017) citam que as o sistema *Lean* consiste na identificação e eliminação de desperdício dentro das empresas. Almejando introduzir esta metodologia, foram desenvolvidas uma série de ferramentas. A Figura 1 apresenta uma classificação das ferramentas *Lean* mais destacadas e amplamente discutidas pela maioria dos investigadores (SALONITIS; TSINOPOULOS, 2016).

Figura 1. Ferramentas e práticas do sistema *Lean*



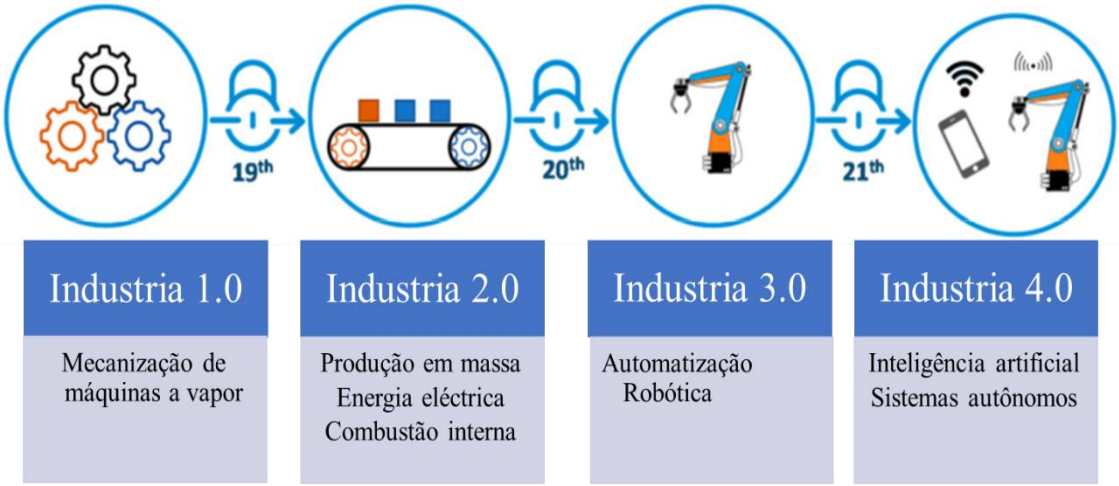
Fonte: Adaptado de Alefari, Salonitis e Xu (2017), Salonitis e Tsinopoulos (2016)

2.2 INDUSTRIA 4.0

Hermann, Pentek e Otto (2016) citam que o termo Indústria 4.0 foi anunciado pela primeira vez em 2011 pelo grupo de trabalho *Industry Science Research Alliance* durante a feira industrial de Hannover por solicitação do governo federal alemão, de modo a poder promover uma indústria nacional alemã forte, competitiva e líder de mercado.

A evolução da indústria pode ser observada na Figura 2, onde se verifica que a partir do século XXI se introduz uma nova era chamada de Indústria 4.0. A partir desse período surge uma nova concepção de produção, que se dá por meio da informatização dos processos de fabricação. A produção inteligente possibilitou avanços significativos nas organizações tais como: inteligência artificial, robótica, nanotecnologia e impressão (FIEDOR; ORTYL, 2020).

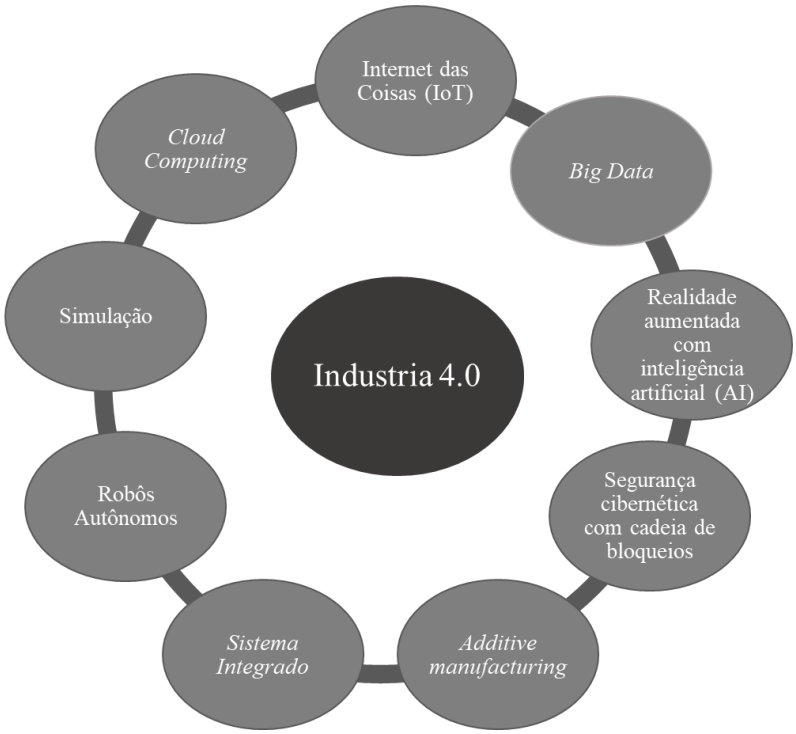
Figura 2. Revolução industrial - da Indústria 1.0 à Indústria 4.0



Fonte: Adaptado Fiedor e Ortyl (2020)

As técnicas da Indústria 4.0 incluem diferentes tecnologias inovadoras e possuem capacidades para melhorar a sustentabilidade das operações de fabrico, a confiabilidade operacional dos equipamentos e a utilização de recursos humanos. As tecnologias associadas à indústria 4.0 se dão conforme a Figura 3 (KUMAR; SINGH; DWIVEDI, 2020).

Figura 3. Tecnologias da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado Kumar, Singh e Dwivedi (2020).

De acordo com Bauer *et al.* (2018) as empresas enfrentam decisões que são tomadas com incerteza, por vezes oriundas de cenários que envolvem concorrência de mercado e o aumento da exigência dos clientes. A Industria 4.0 conhecida como quarta revolução industrial, proporcionou várias tecnologias como *Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing* e *Internet of Things* almejando a modernização das indústrias (SALUNKHE; BERGLUND, 2022).

2.3 INTERAÇÃO DAS METODOLOGIAS *LEAN SYSTEM* E INDUSTRIA 4.0 NO SETOR SIDERÚRGICO

De acordo com Schoeman, Oberholster e Somerset (2020) a siderurgia é um dos setores industriais mais importantes, tornando-se assim uma economia vital a nível mundial. Neste contexto, a redução de desperdício nos seus processos operacionais são

de supra importância, fazendo com que a implementação das ferramentas *Lean* possuam um papel determinante.

O sector siderúrgico se encontra passando por uma rápida evolução, onde algumas tecnologias utilizadas neste setor se dão conforme: Internet das Coisas (IoT); *Big data Analytics and Cloud Computing*; Produção assistida por robôs; Simulação de linhas de produção; Produção auto-organizada; Computação Integrada; Redes e processos físicos (CPS); Rede de fornecimento inteligente; Manutenção preditiva; Segurança cibernética; Trabalho, manutenção e serviço reforçado; Veículos logísticos de auto condução e; Digitalização da gestão do conhecimento (BRANCA *et al*., 2020).

As metodologias *Lean System* e a Indústria 4.0 possuem muitos pontos de sinergia, que promovem vários tipos de soluções industriais. A interação entre os conceitos *Just in Time* (JIT); *Kanban*; *Poka-Yoke*; *Value Stream Mapping* (VSM); *Toyota Productive Maintenance* (TPM) e; *Kaizen*, e os conceitos das tecnologias digitais, promovem um alinhamento de um sistema de produção enxuto de acordo com as tendências tecnológicas decorrentes da Indústria 4.0, fazendo com que as organizações possam alcançar os seus objetivos de produção (VALAMEDE; AKKARI, 2020).

3. MÉTODO

O presente estudo almeja selecionar artigos que descrevam a utilização das ferramentas associadas ao sistema *Lean System* e à Indústria 4.0, identificando uma interação entre estas metodologias de modo a poder aplicar os conceitos em empresas siderúrgicas. Para atingir esse objetivo foram conduzidas cinco etapas.

A primeira etapa consistiu em escolher a base de dados. A maior parte das bases de dados de uma análise bibliográfica possuem como fonte a *Clarivate's Web of Science* ou *Elsevier's Scopus* (MONGEON; PAUL-HUS, 2015).

Apesar de ambas as bases de dados possuírem conteúdos semelhantes, selecionou-se a base de dados *Scopus* (www.scopus.com, acessada de Janeiro a Fevereiro de 2023) por três motivos. Em primeiro lugar porque que o acesso institucional era gratuito. O segundo motivo se dá pela uniformidade das características da pesquisa, como a

possibilidade de efetuar uma busca em caldeamento. Finalmente, o terceiro motivo surge pela possibilidade de integrar a ferramenta *VOSViewer*, e como análise suplementar pelo programa R por meio do pacote *bibliometrix*.

A segunda etapa compreendeu em uma análise bibliográfica, onde os principais termos de pesquisa foram selecionados na base de dados *Scopus* de 2011 a 2023 (Fevereiro). A principal razão para a seleção deste período é que o termo "Indústria 4.0" somente foi adotado pela primeira vez em 2011, conforme citado pelo artigo publicado por Hermann, Pentek e Otto (2016). A pesquisa levou em conta os termos título, resumo e palavras-chave (*TITLE-ABS-KEY*), onde os documentos foram identificados e inseridos manualmente em folhas de cálculo. As questões relacionadas com os termos *Lean Systems*, Industria 4.0 e Siderurgia se correlacionam aos critérios, que serão discutidos na próxima seção.

A terceira etapa englobou uma pesquisa por meio do *software VOSViewer* (www.vosviewer.com, acessado entre Janeiro e Fevereiro de 2023). O *VOSViewer* é uma ferramenta de *software* utilizada para agrupar publicações e analisar os agrupamentos resultantes na literatura (VAN ECK; WALTMAN, 2017).

A quarta etapa consistiu na leitura dos documentos selecionados na etapa 2, onde se interpretou os agrupamentos obtidos na etapa 3. De acordo com Van Eck e Waltman (2017) e Bahuguna, Srivastava e Tiwari (2022) a análise bibliométrica é uma metodologia sofisticada e científica para compreender de forma abrangente qualquer campo de estudo. Este documento adota o método de análise bibliométrica para analisar e extrair inferências de artigos extraídos de uma base de dados *Scopus*. De acordo com Guedes e Borschiver (2005), as principais leis bibliométricas são: Lei de Bradford, (produtividade de periódicos), Lei de Lotka (produtividade científica de autores) e Leis de Zipf (frequência de palavras).

A Lei de Bradford sugere que à medida em que os primeiros artigos sobre um novo assunto são escritos, eles são submetidos a uma pequena seleção, por periódicos apropriados, e se aceitos, esses periódicos atraem outros artigos, no decorrer do desenvolvimento da área de assunto (BROOKES, 1969).

A Lei de Lotka, relacionada à produtividade de autores é fundamentada na premissa básica de que alguns pesquisadores publicam muito e outros publicam pouco, conforme Guedes e Borschiver (2005). O autor Voos (1974) diz que a relação entre o número de autores e o número de artigos publicados por eles, em qualquer área científica, segue a Lei do Inverso do Quadrado $1/n^2$. Isto é, em um dado período, analisando um número n de artigos, o número de cientistas que escrevem dois artigos seria igual a 1/4 do número de cientistas que escreveram um. O número de cientistas que escreveram três artigos seria igual a 1/9 do número de cientistas que escreveram um, e assim sucessivamente.

A Lei de Zipf mensura a frequência de ocorrência dos termos nas obras, servindo para criar uma lista dos termos mais utilizados em determinada área de pesquisa (AGOSTINO *et al*., 2020).

Para tal análise, além da ferramenta *VOSViewer*, utilizou-se o pacote *bibliometrix* do programa R que possui funções para extrair as informações pertinentes às três leis da bibliometria. O *bibliometrix* oferece à historiografia um enredo de rede cronológica que gera uma distribuição de grade de citações ao longo do tempo, assim como criar gráficos com base em pontuações de citações locais e globais (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

A quinta etapa consistiu numa verificação dos resultados obtidos.

Esta pesquisa é classificada de acordo com a Quadro 1.

Quadro 1. Classificação da pesquisa científica

Natureza	Aplicada
Objetivos	Descritivo e Exploratório
Abordagem	Qualitativo
Método	Análise Bibliométrica

Fonte: Adaptado de Kothari e Garg (2019)

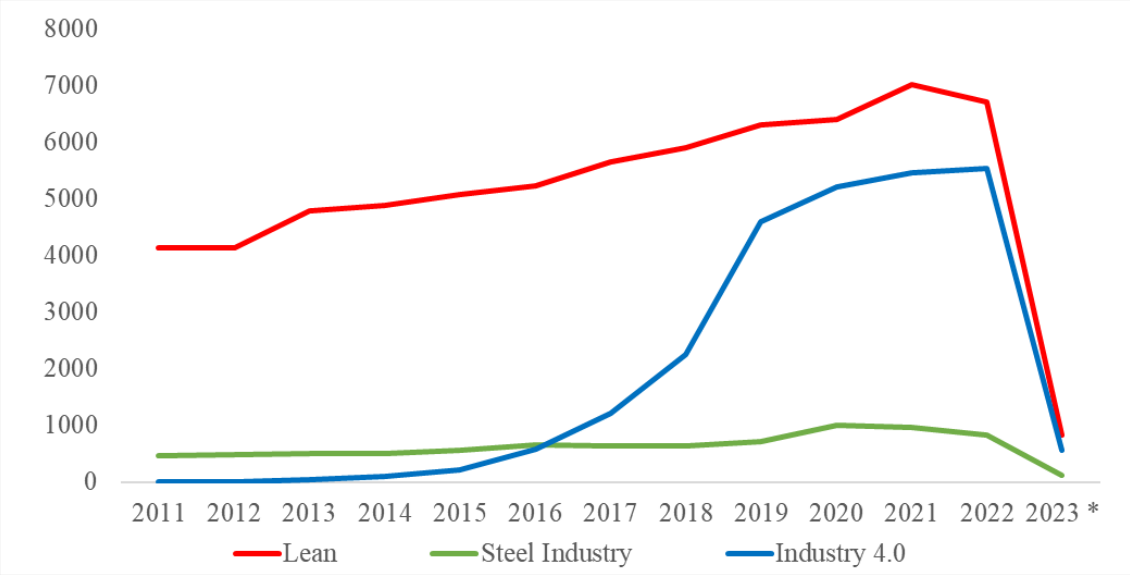
Relativamente à natureza, este estudo é aplicado, com objetivo descritivo e exploratório, uma vez existirá um análise de dados com a associação de conceitos identificados na literatura. Quanto à abordagem, o estudo foi realizado qualitativamente. De acordo com o método, o presente estudo se trata de uma análise bibliométrica.

4. RESULTADOS

4.1 LISTA COMPLETA DE DOCUMENTOS

A Figura 4 apresenta os resultados da pesquisa com as palavras-chave "*Lean*", "*Steel industry*" e "*Industry* 4.0" por meio da seleção "*TITLE-ABS-KEY*" na base de dados *Scopus*, com um período de um ano entre eles. Adotou-se como critério os artigos publicados entre os anos de 2011 a 2023, conforme citado na seção 3.

Figura 4. Total de documentos que resultou da pesquisa no *Scopus*



(*) Apenas contabilizado até Fevereiro
Fonte: *Scopus* (2023)

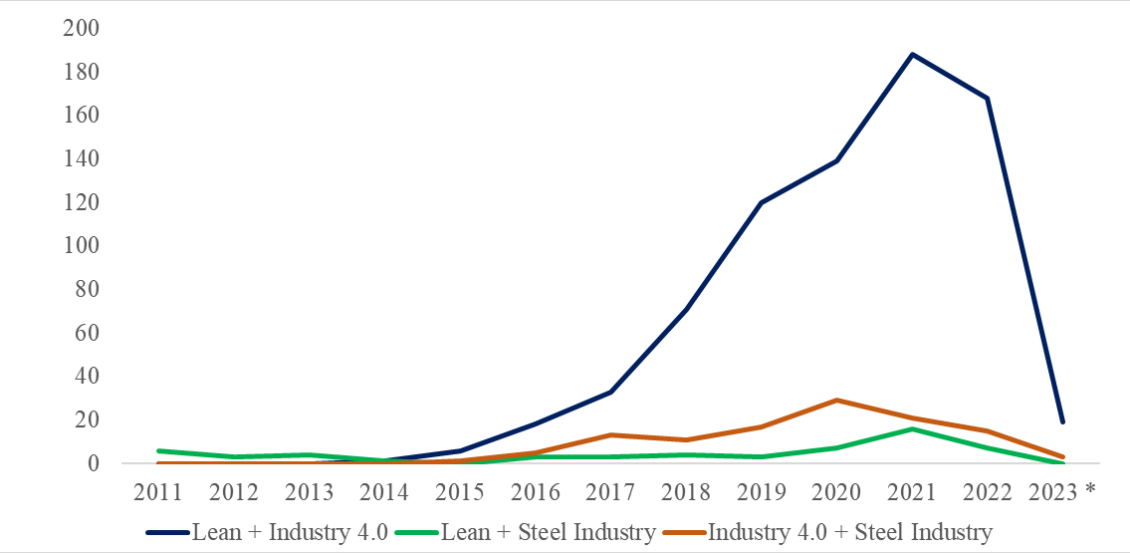
Nem todos os documentos resultantes de pesquisas no *Scopus* se encontravam alinhados com os objetivos desta pesquisa. Existiam documentos que falavam sobre a metodologia *Lean*, mas não sobre Industria 4.0, e vice-versa. Por exemplo, o documento mais citado sobre a *Lean*, publicado no período de 2011-2023, é um artigo sobre a obesidade modular do metabolismo em ratos ((RIDAURA *et al*., 2013).

4.2 LISTA DOS DOCUMENTOS SELECIONADOS

Por meio das combinações de operadores booleanos "*and*" com as palavras "*Lean*" e "*Industry 4.0*" (763), "*Lean*" e " *Steel Industry*" (57), "*Industry 4.0*" e "*Steel Industry*" (151), obteve-se um total de 935 artigos científicos de acordo com a Figura 5.

Adotou-se como critérios de inclusão apenas artigos publicados entre os anos de 2011 a 2023, conforme citado na seção 3.

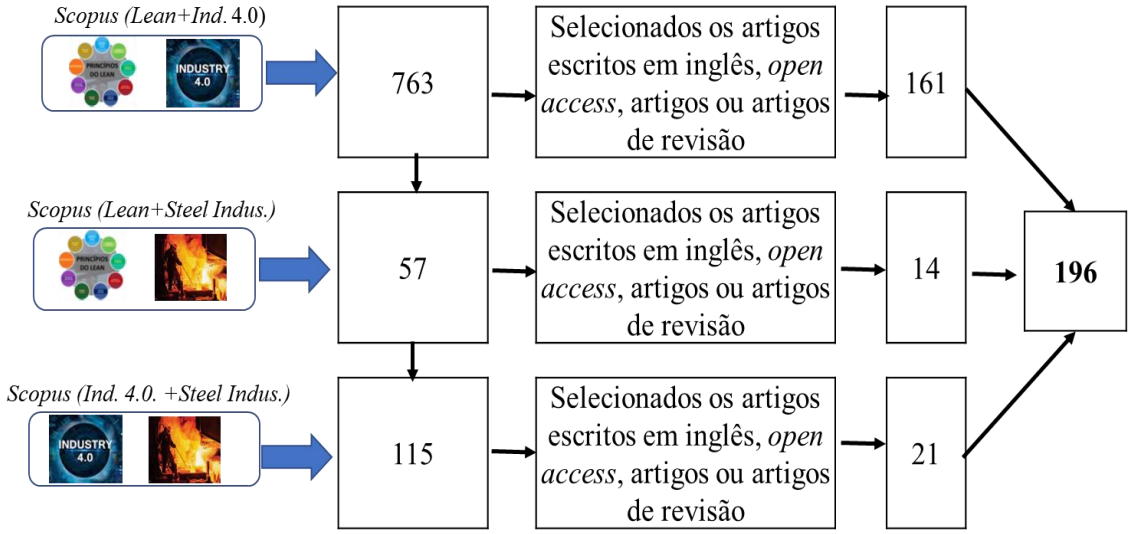
Figura 5. Total de documentos que resultou da pesquisa no *Scopus*



(*) Apenas contabilizado até Fevereiro
Fonte: *Scopus* (2023)

Os critérios de inclusão se encontram associados a artigos escritos em inglês, *open access*, artigos ou artigos de revisão, e publicados entre os anos de 2011 a 2023, conforme citado na seção 3. O Figura 6 apresenta 196 documentos selecionados com as suas principais palavras-chave.

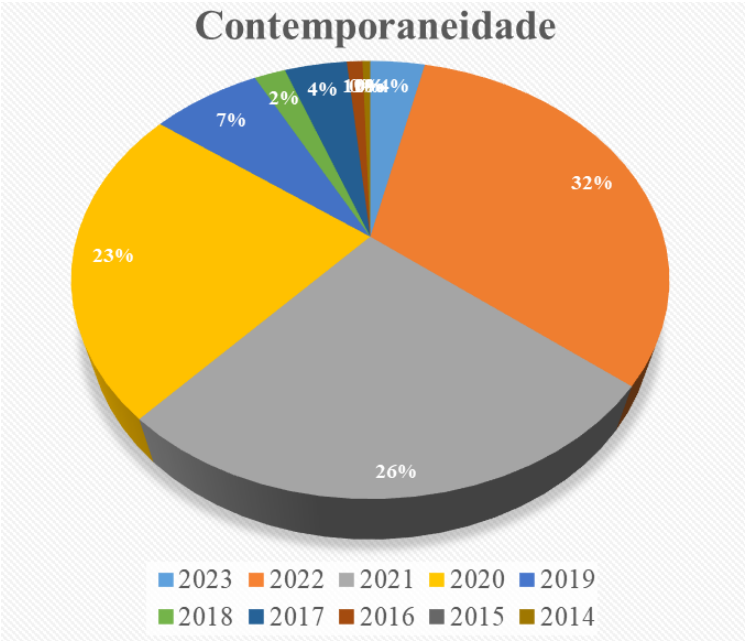
Figura 6. Seleção de artigos científicos



Fonte: Os autores.

Diagnosticou-se que a maior quantidade de artigos publicados teve maior incidência nos últimos anos conforme se verifica na Figura 7.

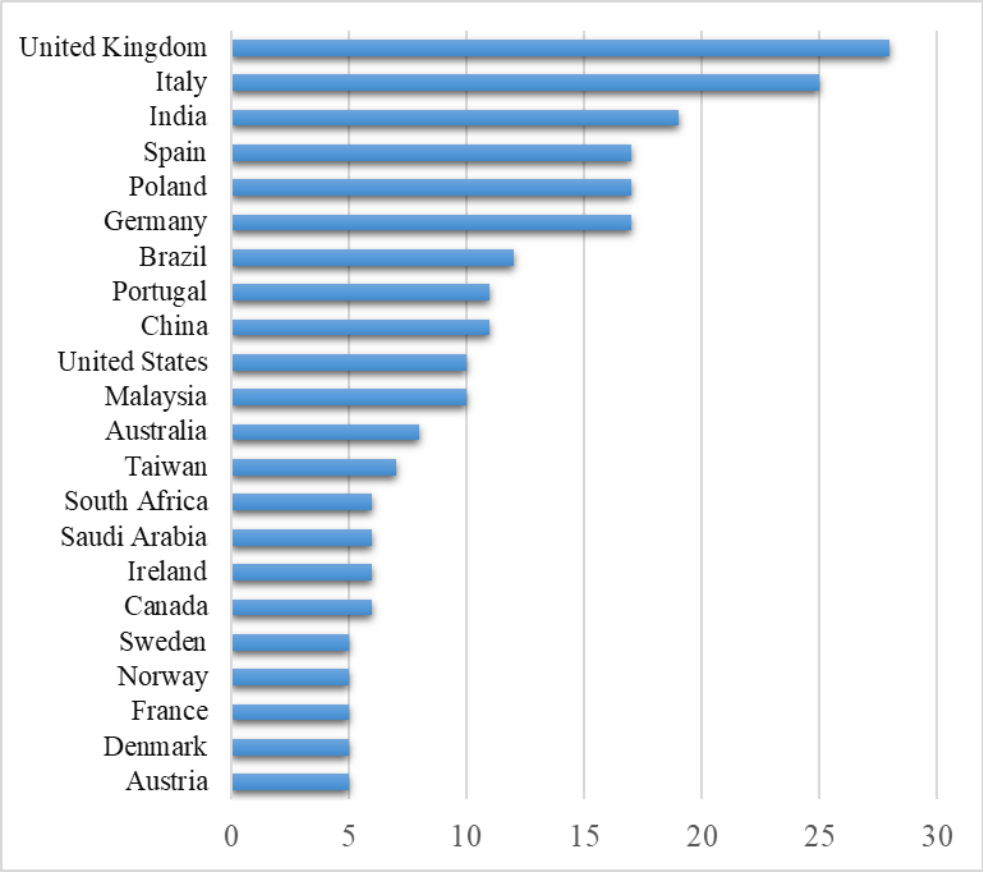
Figura 7. Contemporaneidade



Fonte: *Scopus* (2023)

A Figura 8 apresenta a distribuição por países dos autores que publicaram 5 ou mais artigos, onde o Reino Unido se destaca com 28 artigos publicados, seguidamente temos a Itália (25), Índia (19) e Espanha, Polonia e Alemanha (17). A Itália foi uma surpresa aparecer entre os primeiros lugares, destacada de países como a China, por exemplo, onde normalmente aparece em primeiro lugar.

Figura 8. Distribuição de países com 5 ou mais artigos

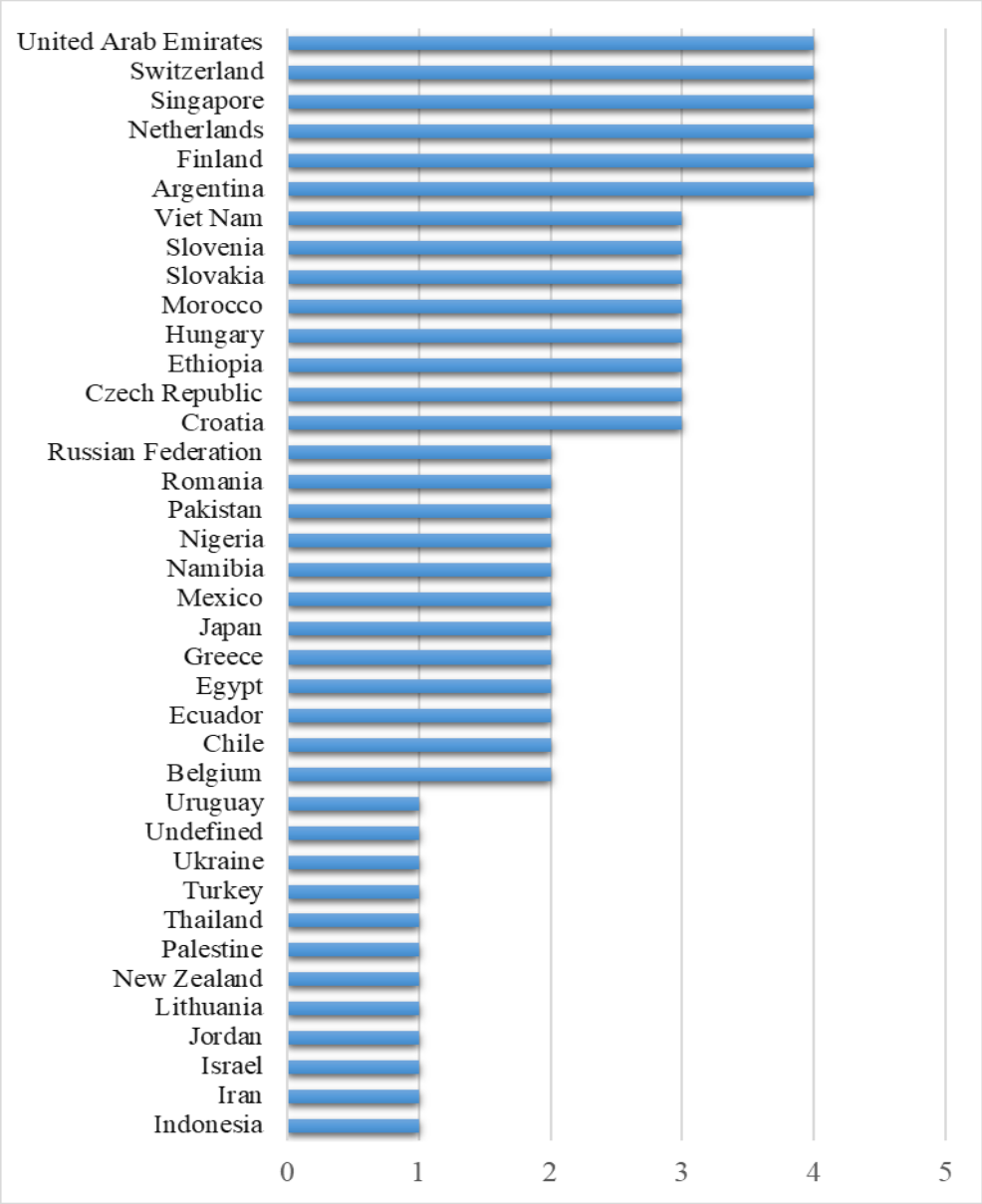


Fonte: *Scopus* (2023)

A Figura 9 contém a distribuição por países dos autores que publicaram até 4 artigos, e quando comparada com a figura 8, observa-se que apenas o Brasil com 12 artigos, é o único país da América do Sul que consta na Figura 8. Os demais países da

América do Sul que se encontram na Figura 9 são Argentina com 4 artigos, Equador e Chile com 2 artigos cada e, por fim o Uruguai com 1 artigo.

Figura 9. Distribuição de países com até 4 artigos



Fonte: *Scopus* (2023)

Pela Lei de Bradford, identificou-se 95 periódicos que publicaram artigos sobre *Lean* ou *Industry 4.0* ou *Steel Industry*, onde os periódicos mais relevantes se encontram estão listados na Tabela 1. Destes, o que concentra o maior número de publicações sobre a temática é o Sustainability (Switzerland), com 30 artigos; em seguida, aparece o Applied Sciences (Switzerland), com 15 publicações; o Energies, com 7 publicações; o Procedia Manufacturing, também com 7 publicações; o International Journal of Production Research, com 6 publicações; e finalmente o Sensors (Switzerland), igualmente com 6 publicações. Os demais periódicos publicaram de 1 a 5 artigos cada.

Desta forma, pode-se dizer que a Lei de Bradford foi atendida uma vez que apenas 6 periódicos concentram 33,49% dos artigos, sendo os 66,51% restantes, distribuídos pelos demais periódicos.

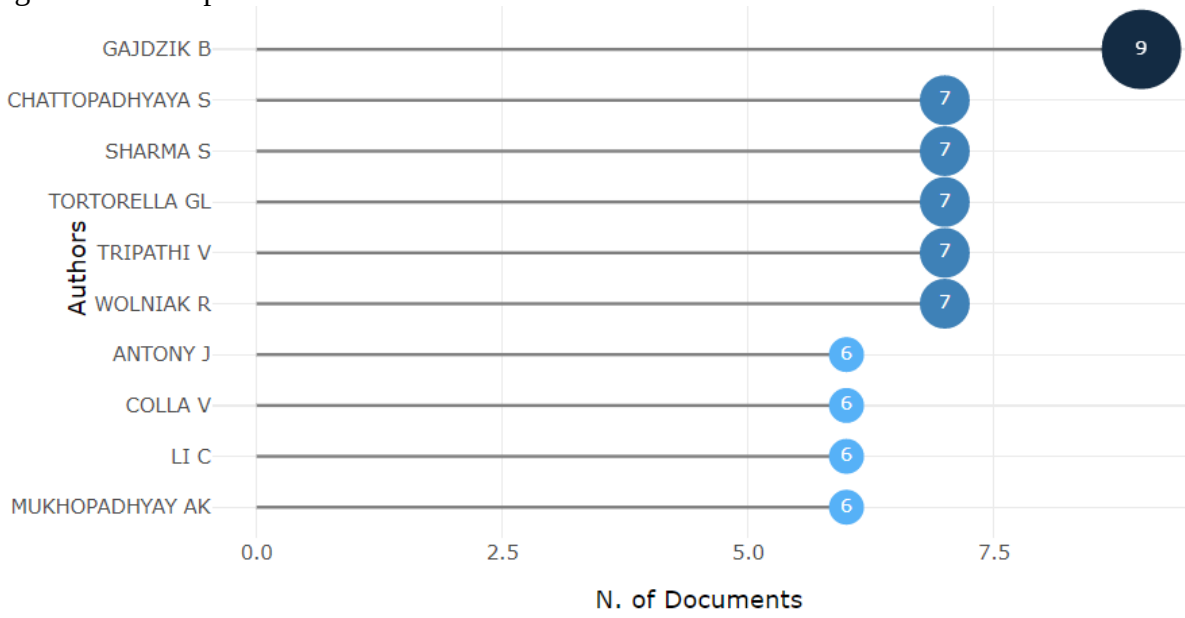
Tabela 1. Principais periódicos

Journal	***Rank***	**Artigos**
Sustainability (Switzerland)	1	30
Applied Sciences (Switzerland)	2	15
Energies	3	7
Procedia Manufacturing	4	7
International Journal of Production Research	5	6
Sensors (Switzerland)	6	6

Fonte: *Bibliometrix*

A Lei de Lotka faz menção à produtividade dos autores, mostrando que grande parte da literatura é produzida por poucos autores e identifica centros de pesquisa numa determinada área. Dos 196 artigos analisados, identificou-se 679 autores, onde os principais se encontram listados na Figura 10. Quando avaliado a produção científica desses autores, observa-se que Gajdzik com 9 publicações, seguido de Chattopadhyaya, Sharma, Tortorella, Tripathi e Wolniak, com 7 publicações cada e, Antony, Colla, Li e Mukhopadhyay, com 6 publicações cada, são os autores com o maior número de publicações.

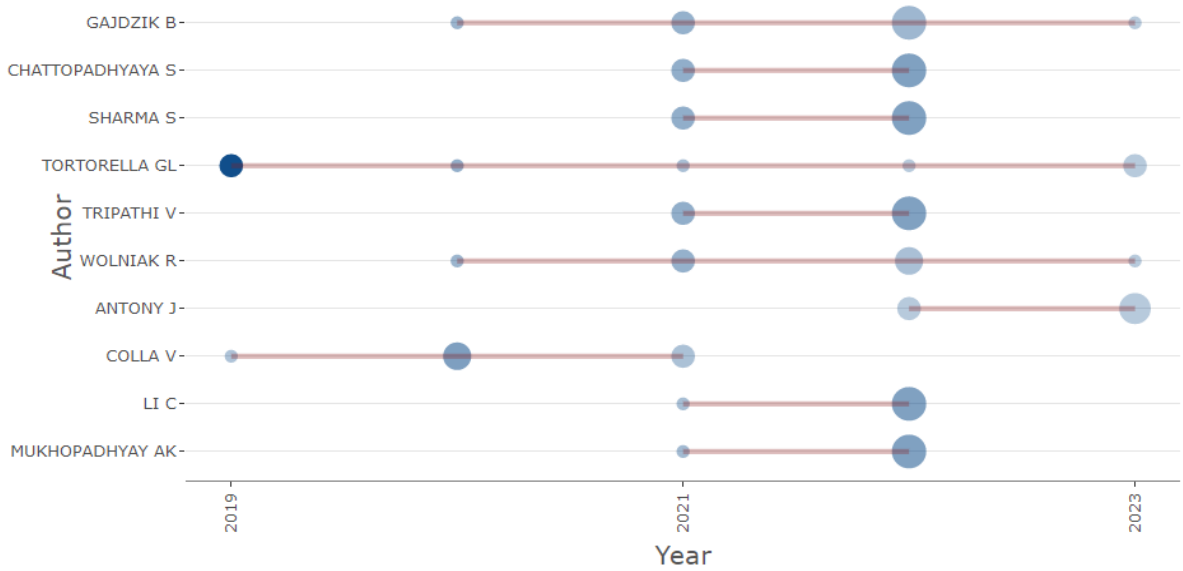
Figura 10. Principais autores



Fonte: *Bibliometrix*

Outra informação importante, é que a produção científica desses autores é recente onde a maioria publicou em 2022, apenas Tortorella que possui a maior parte de suas publicações em 2019, e Colla que possui maior parte em 2020, conforme Figura 11.

Figura 11. Distribuição da produção científica no tempo

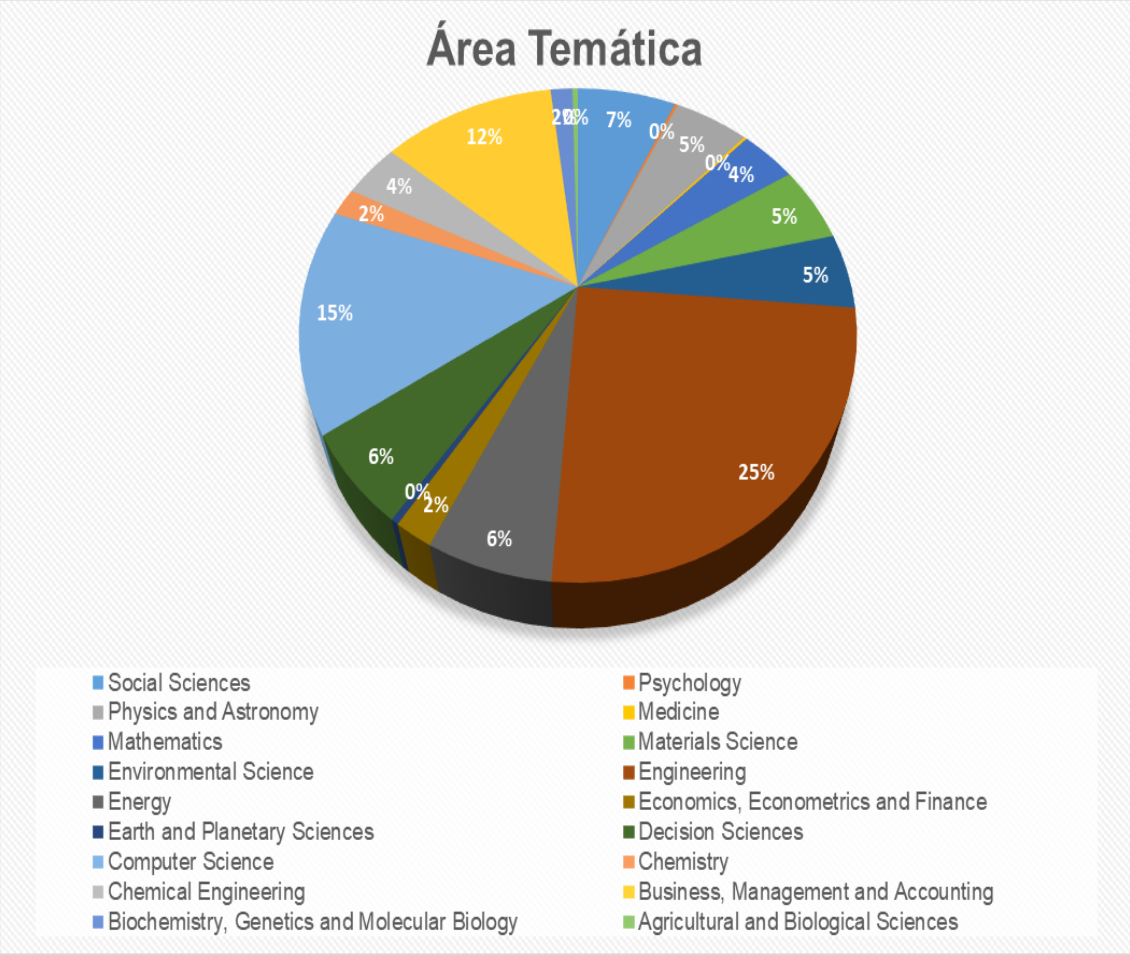


Fonte: *Bibliometrix*

A Figura 12 demonstra a relação dos artigos por área temática. Verifica-se que as áreas de Engenharia (25%), Ciências Computacionais (15%) e Negócios Gestão e Contabilidade (12%) são as áreas de domínio no tema desta pesquisa.

As demais áreas do conhecimento se encontram classificadas como Ciências Sociais; Psicologia; Física e Astronomia; Medicina; Matemática; Ciência dos Materiais; Ciência Ambiental; Engenharia; Energia; Econometria e Finanças; Ciências da Terra e do Planeta; Ciências de Decisão; Ciências Computacionais; Química; Engenharia Química; Negócios, Gestão e Contabilidade e; Ciências Agrárias e Biológicas.

Figura 12. Distribuição dos artigos por área temática

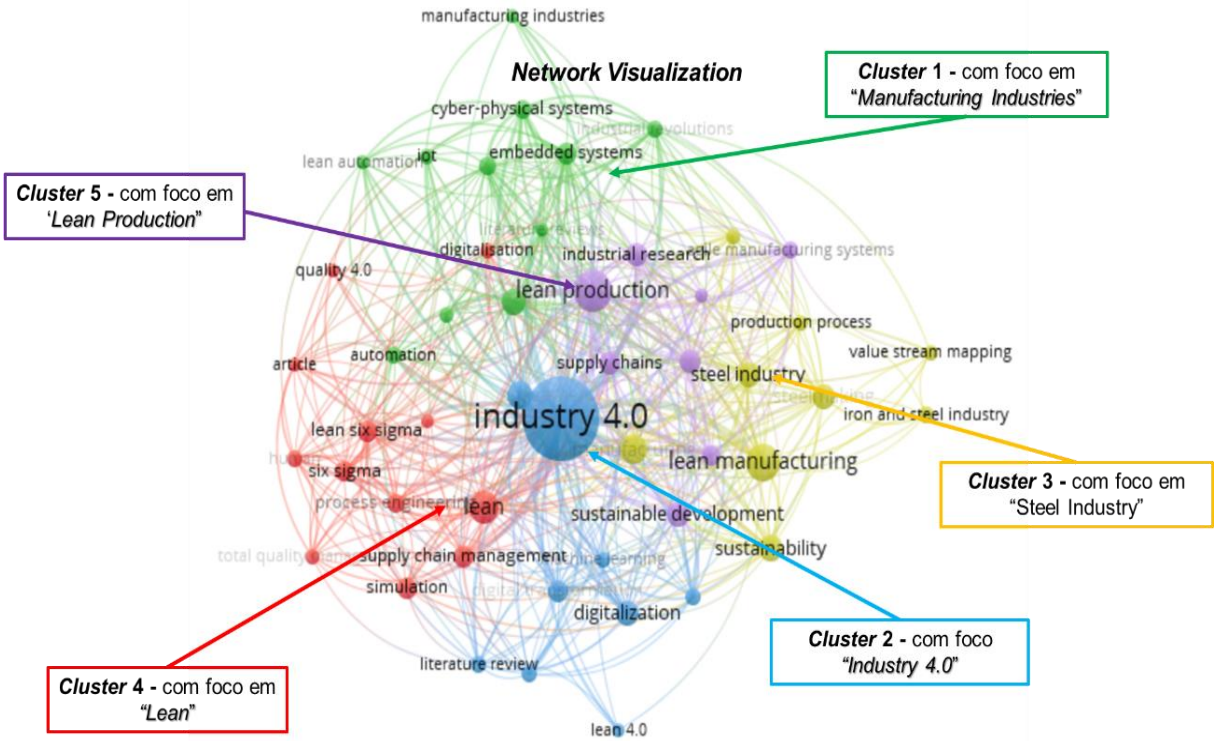


Fonte: *Scopus* (2023)

4.3 *NETWORKS* DE PALAVRAS-CHAVE

Mapeou-se os dados por meio da ferramenta *VOSviewer*, por meio da criação de grafos com base em dados bibliográficos, análise do tipo co-ocorrência entre todas as palavras-chave. Detectou-se 1397 palavras chaves com exigência mínima de 5 ocorrências, resultando na conexão de vários núcleos, atendendo a Lei de Zipf. Considerou-se o método *full counting* para a criação do grafo, onde se observou cinco *clusters*: *Manufacturing industries; Industry 4.0; Steel Industry; Lean* e; *Lean Production* de acordo com a Figura 13.

Figura 13. Distribuição dos artigos por área de pesquisa



Fonte: *VOSviewer*

- *Cluster* 1 (verde) destaca-se quatro pontos principais: *Manufacturing Industries*; *IOT*; *Embedded Systems e Cyber-Physical Systems.* Neste ponto, denota-se o foco

sobre análises que abordam caminhos para conceitos relacionadas com a metodologia Industria 4.0, e interligadas com as indústrias de manufatura.

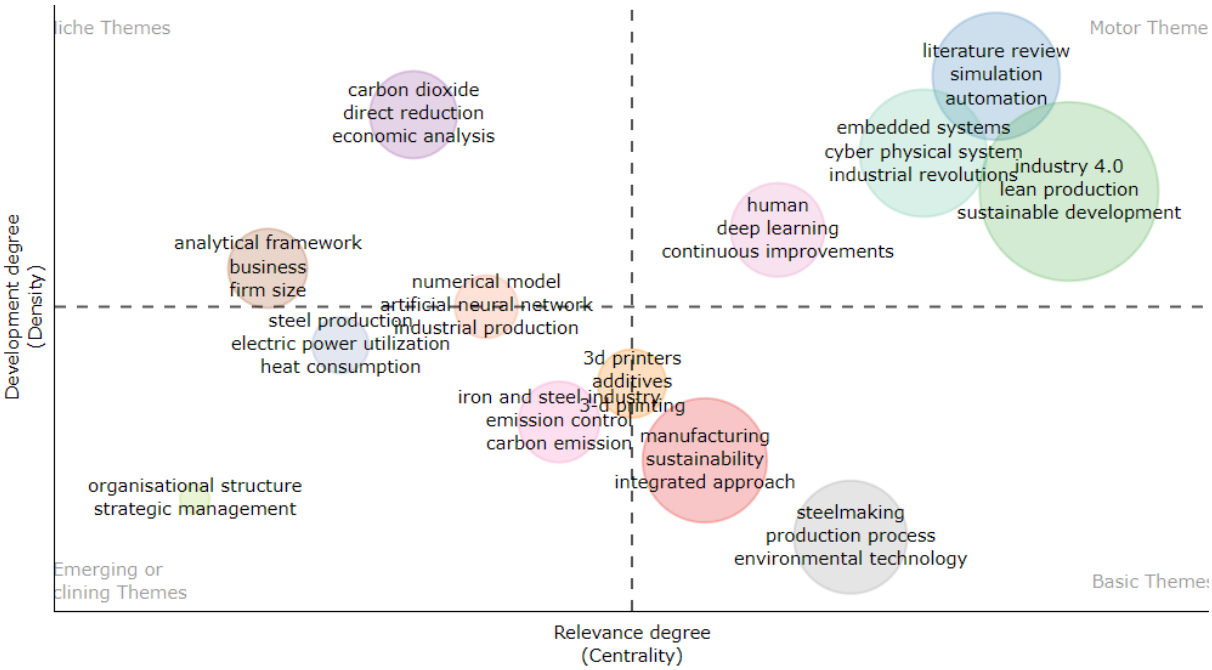
- *Cluster* 2 (azul) destaca-se quatro pontos principais: *Industry 4.0*; *Digitalization*; *Digital Transformation* e; *Machine Learning*. Este tema aborda pontos com motivação à inovação e uso de tecnologias, relacionadas com a Industria 4.0.
- *Cluster* 3 (amarelo) destaca-se cinco pontos principais: *Steel Industry*; *Lean Manufacturing; Sustainability; Value Stream Mapping e; Production Process.* Quanto à discussão, revelou-se um foco em torno de produtividade enxuta (*Lean*) correlacionada com o setor siderúrgico.
- *Cluster* 4 (vermelho) destaca-se seis pontos principais: *Lean*; *Six Sigma*; *Process Engineering* e; *Quality* 4.0. Neste ponto, o debate se dá em torno de metodologias associadas ao *Lean*, conectando-as às grandes discussões de melhoria contínua nas organizações.
- *Cluster* 5 (roxo) destaca-se quatro pontos principais: *Lean Production*; *Industrial Research*; *Lean Manufacturing* e; *Sustainable Development*. Neste item vislumbra-se uma discussão conectada à pesquisa industrial e como a metodologia *Lean* pode promover uma produção enxuta.

Pode ser observado que o *cluster* 2 no ponto Indústria 4.0, possui a maior frequência de termos seguido do *cluster* 5, referente ao ponto *Lean Production*. A palavra *Lean* é encontrada em pelo menos um termo em todos os *clusters*, conforme: *Lean Automation* no *cluster* 1, *Lean* 4.0 no *cluster* 2, *Lean Manufacturing* no *cluster* 3, *Lean* e *Lean Six Sigma* no *cluster* 4 e, por fim, *Lean Production* no *cluster* 5. Apesar do *Lean* permear todos os *clusters*, ainda são poucos os trabalhos publicados que abordam *Lean*, *Industry 4.0* e *Steel Industry*.

O *bibliometrix* do programa R possui um relatório que verifica a relevância e desenvolvimento do termo de acordo com a quantidade de publicações e o fator de impacto H (*Impact Index H*). Analisando a Figura 14 de acordo com o grau de relevância e o grau de desenvolvimento, se consta o tema *Lean Production* (que não é um tema novo) no quadrante superior direito que agrupa o "*Motor Themes*", cujo desenvolvimento e relevância estão em alta. Isso demonstra que este tema ainda é relevante para o meio

científico, com o advento das tecnologias inteligentes da Indústria 4.0, proporcionando muitos campos de estudos. Assim sendo, o termo *Industry 4.0* que é relativamente novo se encontra no quadrante *"Motor Themes"*. Já o termo *Steel Production* se encontra no quadrante inferior esquerdo *"Emerging or Declined Themes"*, porém ele se encontra mais próximo do quadrante "*Nich Themes*" do que do quadrante "*Basic Themes*". Desta forma, podemos observar que existem oportunidades de produção científica neste contexto de produção *Lean* em ambiente siderúrgico, com suporte das tecnologias associadas à Indústria 4.0.

Figura 14. Mapa temático por relevância e grau de desenvolvimento



Fonte: *Bibliometrix*

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme citado por Valamede *et al*. (2020) as metodologias *Lean* e a Indústria 4.0 contribuem para a minimização e/ou eliminação de desperdícios nas organizações. A associação destes conceitos apontam para uma mudança organizacional, identificando

estratégias que permitem as organizações manterem os seus negócios competitivos, num mercado cada vez mais globalizado.

Este trabalho apresentou resultados parciais de um estudo que se encontra em constante desenvolvimento, e que equaciona a associação das metodologias *Lean Systems* e Indústria 4.0, aplicados na indústria siderúrgica. Assim, os resultados apresentados neste artigo foram importantes para uma investigação que se encontra em desenvolvimento.

A metodologia utilizada é uma técnica bibliométrica que permitiu conhecer a evolução neste campo, a base de dados utilizada é a *Scopus*, com um número de 935 publicações que foram indexadas entre o período de 2011 a 2023. Esta metodologia se torna eficaz na realização de uma análise de co-palavras "*Lean; Industry* 4.0 e; *Steel Industry*".

A Itália, Índia, Espanha, Polonia e Alemanha são os países com mais artigos publicados, e as áreas de Engenharia, Ciências Computacionais e Negócios Gestão e Contabilidade são as áreas com mais ênfase em "*Lean* e Indústria 4.0".

Em seguida, por meio da associação das palavras-chave "*Lean* e *Industry* 4.0", diagnosticou-se que existe uma sinergia muito significante entre estas metodologias e o setor siderúrgico (*Steel Industry*).

Cui *et al*. (2022) elaboraram uma análise bibliométrica de para escória de aço de usinas siderúrgicas, onde referem que uma análise bibliométrica é uma abordagem estatística para avaliar a tendência de desenvolvimento em certas áreas de investigação ao longo do tempo, extraindo informações de um determinado número de publicações. Esta metodologia pode ser utilizada para identificar países, revistas, citações, etc.

5.1 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

A indústria siderúrgica enfrenta um mercado extremamente competitivo e globalizado, onde a filosofia de melhoria contínua exerce um papel determinante na garantia da qualidade, optimização de ativos, estabilidade de mercado e redução de custos operacionais. A era 4.0 se torna uma realidade que promove a competitividade de

mercado, onde as organizações por meio da combinação das metodologias *Lean Systems* e Indústria 4.0 promovem relevantes ganhos industriais, socioeconômicos e um sustentável desenvolvimento global da indústria siderúrgica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho consistia em elaborar uma análise bibliométrica que relacione as principais produções científicas do sistema *Lean Systems* e da Indústria 4.0, para o setor siderúrgico. Esse objetivo foi alcançado por meio desta pesquisa científica, porém os autores estão cientes da subjetividade dos resultados. No entanto, diagnosticou-se que as ferramentas associadas à metodologia *Lean System*, e as tecnologias associadas à metodologia Industria 4.0, podem oferecer potenciais benefícios às organizações siderúrgicas, tornando-se necessário avaliar cuidadosamente a eficácia da ferramenta e/ou tecnologia associada para cada caso.

As sugestões propostas para estudos futuros, constam em elaborar uma comparação entre as vantagens e limitações dos conceitos aplicados em ambas as metodologias. Ou seja, que tipos de conceitos das metodologias Industria 4.0 e *Lean Systems* podem ser aplicados em uma organização siderúrgica. "Podem todos os conceitos destas metodologias coexistir no setor siderúrgico?". Outro tema para uma investigação futura seria elaborar uma análise bibliográfica em outras bases de dados e comparar os resultados obtidos, uma vez que este estudo somente levou em consideração a base de dados *Scopus*.

REFERÊNCIAS

AGOSTINO, Icaro Romolo Sousa; SILVA, Wesley Vieira; VEIGA, Claudimar Pereira da; SOUZA, Adriano Mendonça. Forecasting models in the manufacturing processes and operations management: systematic literature review. **Journal Of Forecasting**, [S.L.], v. 39, n. 7, p. 1043-1056, 5 mar. 2020. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/for.2674.

ALEFARI, Mudhafar; SALONITIS, Konstantinos; XU, Yuchun. The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 63, p. 756-761, 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.169.

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: an r-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal Of Informetrics**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 959-975, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007.

BAHUGUNA, Prakash Chandra; SRIVASTAVA, Rajeev; TIWARI, Saurabh. Two-decade journey of green human resource management research: a bibliometric analysis. **Benchmarking**: An International Journal, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 585-602, 29 mar. 2022. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/bij-10-2021-0619.

BAUER, Harald; BRANDL, Felix; LOCK, Christopher; REINHART, Gunther. Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories. **Procedia Manufacturing**, [S.L.], v. 23, p. 147-152, 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008.

BONAMIGO, Andrei; FRECH, Camila Guimarães. Industry 4.0 in services: challenges and opportunities for value co-creation. **Journal Of Services Marketing**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 412-427, 4 dez. 2020. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/jsm-02-2020-0073.

BRANCA, Teresa Annunziata; FORNAI, Barbara; COLLA, Valentina; MURRI, Maria Maddalena; STREPPA, Eliana; SCHRÖDER, Antonius Johannes. The Challenge of Digitalization in the Steel Sector. **Metals**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 288, 21 fev. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/met10020288.

BROOKES, B. C.. Bradford's Law and the Bibliography of Science. **Nature**, [S.L.], v. 224, n. 5223, p. 953-956, dez. 1969. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1038/224953a0.

CHEN, Ping-Kuo; FORTUNY-SANTOS, Jordi; LUJAN, Itizar; RUIZ-DE-ARBULO-LÓPEZ, Patxi. Sustainable manufacturing: exploring antecedents and influence of total productive maintenance and lean manufacturing. **Advances In Mechanical Engineering**, [S.L.], v. 11, n. 11, p. 168781401988973, nov. 2019. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/1687814019889736.

CUI, Peide; MA, Tao; CHEN, Feng; ZHANG, Yang; LIU, Xiyin. Bibliometric Analysis of Steelmaking Slag-Related Studies for Research Trends and Future Directions. **Minerals**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 1520, 28 nov. 2022. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/min12121520.

FIEDOR, Paweł; ORTYL, Joanna. A New Approach to Micromachining: high-precision and innovative additive manufacturing solutions based on

photopolymerization technology. **Materials**, [S.L.], v. 13, n. 13, p. 2951, 1 jul. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/ma13132951.

GUEDES, Vânia LS; BORSCHIVER, Suzana. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. **encontro nacional de ciência da informação**, v. 6, n. 1, p. 18, 2005.

GRABOWSKA, Sandra; SANIUK, Sebastian. Assessment of the Competitiveness and Effectiveness of an Open Business Model in the Industry 4.0 Environment. **Journal Of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 57, 19 mar. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.3390/joitmc8010057.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. **2016 49Th Hawaii International Conference On System Sciences** (Hicss), [S.L.], jan. 2016. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2016.488.

HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, Marcela; DÍAZ, Carlos A. Escobar; MORALES-MENENDEZ, Ruben. Engineering education for smart 4.0 technology: a review. **International Journal On Interactive Design And Manufacturing (Ijidem)**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 789-803, 29 jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s12008-020-00672-x.

KLAŁNJA, Nataša; SREMčEV, Nemanja; VUKELIć, Djordje; SIMEUNOVIć, Nenad; LAZAREVIć, Milovan. Optimization of Cable Harness Assembly Systems Based on Lean Concept Application. **International Journal Of Industrial Engineering And Management**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 115-123, mar. 2019. Faculty of Technical Sciences. http://dx.doi.org/10.24867/ijiem-2019-1-115.

KOTHARI, C. R.; GARG, Gaurav. Research methodology methods and techniques. 4. ed. **Nova Deli**: New Age International, 2019.

KUMAR, Ravinder; SINGH, Rajesh Kr.; DWIVEDI, Yogesh Kr.. Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: analysis of challenges. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 275, p. 124063, dez. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063.

MONGEON, Philippe; PAUL-HUS, Adèle. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, [S.L.], v. 106, n. 1, p. 213-228, 19 out. 2015. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5.

NEDJWA, Elafri; BERTRAND, Rose; BOUDEMAGH, Souad Sassi. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean management tools: a bibliometric analysis.

International Journal On Interactive Design And Manufacturing (Ijidem), [S.L.], v. 16, n. 1, p. 135-150, 14 jan. 2022. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s12008-021-00795-9.

RIDAURA, Vanessa K.; FAITH, Jeremiah J.; REY, Federico E.; CHENG, Jiye; DUNCAN, Alexis E.; KAU, Andrew L.; GRIFFIN, Nicholas W.; LOMBARD, Vincent; HENRISSAT, Bernard; BAIN, James R.. Gut Microbiota from Twins Discordant for Obesity Modulate Metabolism in Mice. **Science**, [S.L.], v. 341, n. 6150, 6 set. 2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS). http://dx.doi.org/10.1126/science.1241214.

SALONITIS, Konstantinos; TSINOPOULOS, Christos. Drivers and Barriers of Lean Implementation in the Greek Manufacturing Sector. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 57, p. 189-194, 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.033.

SALUNKHE, Omkar; BERGLUND, Åsa Fast. Industry 4.0 enabling technologies for increasing operational flexibility in final assembly. **International Journal Of Industrial Engineering And Management**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 38-48, 30 mar. 2022. Faculty of Technical Sciences. http://dx.doi.org/10.24867/ijiem-2022-1-299.

SHANMUGAM, Sethu Prasanth; NURNI, Viswanathan N.; MANJINI, Sambandam; CHANDRA, Sanjay; HOLAPPA, Lauri E. K.. Challenges and Outlines of Steelmaking toward the Year 2030 and Beyond—Indian Perspective. **Metals**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1654, 19 out. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/met11101654.

SCHOEMAN, Yolandi; OBERHOLSTER, Paul; SOMERSET, Vernon. Value Stream Mapping as a Supporting Management Tool to Identify the Flow of Industrial Waste: a case study. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 91, 23 dez. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su13010091.

URIARTE, Ainhoa Goienetxea; NG, Amos H.C.; MORIS, Matías Urenda. Bringing together Lean and simulation: a comprehensive review. **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 58, n. 1, p. 87-117, 20 jul. 2019. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1643512.

VALAMEDE, Luana Sposito; AKKARI, Alessandra Cristina Santos. Lean 4.0: a new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies. **International Journal Of Mathematical, Engineering And Management Sciences**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 851-868, 1 out. 2020. International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences plus Mangey Ram. http://dx.doi.org/10.33889/ijmems.2020.5.5.066.

VAN ECK, Nees Jan; WALTMAN, Ludo. Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. **Scientometrics**, [S.L.], v. 111, n. 2, p. 1053-

1070, 27 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7.

VOOS, Henry. Lotka and information science. **Journal Of The American Society For Information Science**, [S.L.], v. 25, n. 4, p. 270-272, jul. 1974. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/asi.4630250410.

YAHYA, M s; MOHAMMAD, M; OMAR, B; RAMLY, E F; ATAN, H. Awareness, implementation, effectiveness and future use of lean tools and techniques in Malaysia organisations: a survey. **Journal Of Physics**: Conference Series, [S.L.], v. 1150, p. 012010, jan. 2019. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1150/1/012010.

YUIK, Chong Jia; PUVANASVARAN, Perumal. Development of Lean Manufacturing Implementation Framework in Machinery and Equipment SMEs. **International Journal Of Industrial Engineering And Management**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 157-169, 30 set. 2020. Faculty of Technical Sciences. http://dx.doi.org/10.24867/ijiem-2020-3-261.