

ASSOCIAÇÃO CARUARUENSE DE ENSINO SUPERIOR E TÉCNICO
CENTRO UNIVERSITÁRIO TABOSA DE ALMEIDA
(ASCES-UNITA)
CURSO: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Raffael Vinícius Muniz de Oliveira

INDÚSTRIA 4.0 NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: um estudo
bibliométrico

CARUARU

2022

Raffael Vinícius Muniz de Oliveira

**INDÚSTRIA 4.0 NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: um estudo
bibliométrico**

Trabalho de conclusão de curso para graduação apresentado à coordenação do núcleo de trabalhos de conclusão de curso, do Centro Universitário Tabosa de Almeida (ASCES-UNITA), em requisito parcial para a aquisição de grau de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Jeferson Mendonça Pereira Filho.

CARUARU

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por todo discernimento e resiliência que me tem dado mediante as oportunidades a que vem me proporcionando em meio a tantas adversidades durante esta caminhada,

A minha família, em especial meus pais, por todo apoio, paciência e compreensão.

Por fim agradeço aos professores que sempre estiveram presentes comigo dispostos a contribuir com o enriquecimento do nosso aprendizado e em especial ao prof. Me. Jeferson Mendonça meu orientador.

RESUMO

A indústria 4.0 é um novo conceito, proposto há pouco tempo, adotado pelas empresas para aumentar a competitividade, semelhante a manufatura enxuta criada na década de 50, engloba o desenvolvimento, incorporação e aplicação de inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura. Sendo um acontecimento recente, o conhecimento acerca da mensuração da pesquisa científica e dos indicadores bibliométricos neste setor ainda é uma lacuna a ser preenchida. O objetivo deste trabalho é discorrer a respeito da situação atual da pesquisa brasileira na área da engenharia de produção no tocante à Indústria 4.0 a partir dos trabalhos publicados no ENEGEP entre os anos de 2011 a 2019. Dentre os resultados da pesquisa, observou-se uma convergência entre as questões enfoques apontando 65% de relevância as regiões Sul e Sudeste, aonde estão situadas também as principais faculdades e autores encontrados nas pesquisas e dentre os principais resultados encontrados apontou-se uma alta relevância ao meio de pesquisa dos principais autores. Ressalta-se que não se trata de um estudo exaustivo, mas de uma iniciação ao tema cuja abordagem, em termos acadêmicos, ainda é bastante escassa.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Inovação, Bibliometria.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. **Figura 1** – Os quatro estágios das revoluções industriais..... 9
2. **Quadro 1** – Princípios para preparação de um ambiente no contexto da Indústria 4.0..... 13
3. **Gráfico 1** – Regiões envolvidas com a pesquisa sobre indústria 4.0..... 19
4. **Gráfico 2** – Universidades envolvidas com a pesquisa sobre indústria 4.0..... 20
5. **Gráfico 3** – Autores envolvidos com a pesquisa sobre indústria 4.0..... 21
6. **Gráfico 4** – Principais resultados envolvidos com a pesquisa sobre indústria 4.0..... 22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA.....	5
3	PERGUNTA NORTEADORA.....	6
4	OBJETIVOS	7
4.1	OBJETIVO GERAL.....	7
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5	REFERENCIAL TEÓRICO	8
5.1	EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA.....	8
5.3	PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	11
5.4	INDÚSTRIA 4.0 NA PRÁTICA.....	13
6	METODOLOGIA.....	15
6.1	TIPO DE ESTUDO	15
6.1.1	tipo de pesquisa.....	15
6.1.2	abordagem.....	15
6.2	POPULAÇÃO E AMOSTRA	16
6.3	PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO	16
6.4	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	17
6.5	COLETA DE DADOS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	17
6.6	ANÁLISE DE DADOS	17
6.7	IMPACTOS E RESULTADOS ESPERADOS.....	18
6.8	CONSIDERAÇÕES ÉTICAS	18
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O mundo está testemunhando a quarta revolução industrial e a dinâmica e veloz transformação digital no contexto dos negócios. Assim, o século XXI tem sido marcado por um desenvolvimento tecnológico sem precedentes e que chama as atenções não só do mercado, mas também de acadêmicos, a fim de compreender esse fenômeno. Comumente, a quarta revolução industrial é referida como Indústria 4.0 (XU *et al.*, 2018).

O conceito de Indústria 4.0 foi lançado em 2011 por um conselho do governo alemão, composto por cientistas e representantes da indústria. Originalmente, foi na indústria de transformação que tal definição para a quarta revolução industrial foi postulada. Desde a publicação do termo Indústria 4.0, a transformação digital inerente a essa conceituação chamou a atenção de industriais e governos em todo o mundo (GHOBAKHLOO, 2018). Conseqüentemente, tem havido um aumento nas publicações que adotam o conceito tanto na comunidade acadêmica quanto no setor privado (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Porém, essa conceituação evoluiu nos últimos anos e, atualmente, a indústria 4.0 envolve a transformação digital de todos os mercados industrial e de consumidor, desde o advento da fabricação inteligente até a digitalização de canais de entrega de valor inteiros (SCHROEDER *et al.*, 2019). Assim, o termo Indústria 4.0 sugere a aplicação de princípios e tecnologias da Internet das Coisas (IoT) na indústria de transformação. Adicionalmente, com frequência, cientistas e colaboradores governamentais e industriais relacionam diretamente a Indústria 4.0 com a digitalização e a “smartização” de fábricas, canais de distribuição e membros da cadeia de valor (QU *et al.*, 2019).

Compreende-se que toda essa evolução tecnológica e digital relacionada à Indústria 4.0, como a digitalização de processos de negócios e fabricação e a implantação de máquinas e dispositivos mais inteligentes podem oferecer inúmeras vantagens, como produtividade de fabricação e eficiência na utilização de recursos, o que minimiza os desperdícios (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018). Por outro lado, um aumento na produção em virtude dessa automação industrial estaria associado a um maior consumo de recursos e energia, o que potencializa a poluição ambiental (LIU; BAE, 2018). Além disso, do ponto de vista social, espera-se que a transformação digital e a reestruturação da indústria perturbem gravemente o mercado de trabalho. Inclusive, especialistas acreditam que todo esse conjunto de tecnologias, especialmente aquelas que economizam mão-de-obra (por exemplo, robôs inteligentes, veículos autônomos e soluções em nuvem) eliminarão a maioria dos empregos menos qualificados.

Dessa forma, entende-se que as implicações que a Indústria 4.0 traz e poderá trazer para o mundo é algo complexo e, por isso, torna-se um convite à comunidade acadêmica à reflexão e investigações sobre esse fenômeno. Particularmente, na área da engenharia de produção essa temática tem despertado interesse não só a nível teórico, mas também em uma perspectiva pragmática e funcional.

2 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

A partir do exposto na introdução, compreende-se que o fenômeno da Indústria 4.0 acarreta e acarretará impactos tanto positivos quanto negativos e, por isso, precisa ser estudado a fim de ser compreendido. Para tanto, na área da engenharia de produção, especialmente no Brasil, estudos que versam sobre essa temática ainda são incipientes. Em outras palavras, pouco se sabe como a Indústria 4.0 tem sido estudada na engenharia de produção, uma vez que essa ciência está intimamente relacionada com o desenvolvimento da indústria. Nessa perspectiva, entende-se que uma forma de se revelar o estado da arte sobre o que há entre a engenharia de produção no Brasil e a Indústria 4.0 é conhecendo os estudos que versam sobre esse tema e mapeando-os.

Dessa forma, entende-se que a partir de uma pesquisa bibliométrica é possível conhecer, mapear e descrever características específicas dos trabalhos desenvolvidos na área da engenharia de produção que tratam sobre o tema Indústria 4.0. Adicionalmente, sustenta-se a base teórica para a aplicação de métodos que visam à construção de indicadores de produção e de desempenho científico (SILVA, MASSAO HAYASHI, INNOCENTINI HAYASHI, 2011). Logo, presume-se que realizar uma pesquisa centrada em um banco de dados, como os anais dos trabalhos publicados no Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) é oportuno, tendo em vista que esse mapeamento poderá revelar a situação atual da pesquisa brasileira na área da engenharia de produção no tocante à Indústria 4.0.

A escolha desse evento se deveu em virtude do ENEGEP ser o maior encontro de cunho científico da área de engenharia de produção no Brasil, onde anualmente são aprovados artigos relacionados a onze áreas de atuação da engenharia de produção. Esses artigos, além de serem apresentados no evento, estão disponíveis no portal da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), que os administra e os categoriza por ano de publicação, área, subárea e autores.

3 PERGUNTA NORTEADORA

A fim de se aprofundar no tema Indústria 4.0 dentro da engenharia de produção, faz-se necessário conhecer os trabalhos científicos que foram desenvolvidos sobre esse assunto até o momento. Em outras palavras, um mapeamento sobre a situação da pesquisa acadêmica dentro da engenharia de produção sobre a Indústria 4.0 seria um passo significativo para a evolução da literatura nessa área do conhecimento. Sendo assim, este trabalho será orientado pela seguinte pergunta de pesquisa:

Qual a situação atual da pesquisa brasileira na área da engenharia de produção no tocante à Indústria 4.0 a partir dos trabalhos publicados no ENEGEP entre os anos de 2011 a 2019?

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem por objetivo principal realizar um estudo bibliométrico a partir dos artigos publicados nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), entre os anos 2011 a 2019 que trataram sobre a Indústria 4.0, com o propósito de se conhecer a situação atual da pesquisa acadêmica nessa temática.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos pretendem apontar e contabilizar os números que envolvem o estudo bibliométrico, tais como:

1. As regiões do país onde as pesquisas foram realizadas;
2. As universidades que mais tiveram artigos publicados sobre o tema;
3. Os autores que mais contribuíram com a área,
4. Os principais resultados alcançados nos trabalhos desenvolvidos.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA

Desde o século XVIII o mundo tem experimentado por revoluções industriais, estas são até o presente momento, responsáveis pelas mudanças na produção, na forma de pensar e ainda de maximização de lucros e minimização de custos ao longo dos anos. Simultaneamente, o mundo também tem enfrentado o desafio de produzir mais bens a partir de recursos naturais limitados e esgotantes para atender à crescente demanda de consumo e limitar os impactos ambientais e sociais negativos (BEIER *et al.*, 2018). Com isso, entende-se que a indústria tem uma participação expressiva na história da humanidade e que também é fundamental para o seu desenvolvimento.

Dessa forma, historicamente, afirma-se que foi no século XVIII que o mundo vivenciou a sua primeira revolução industrial. Especificamente, com o aperfeiçoamento da máquina a vapor proposto por James Watt, a sociedade estava à face da sua primeira revolução industrial, a qual trouxe um expressivo aumento na produtividade e uma expansão das cidades. Ademais, a primeira fase da revolução industrial consistiu na utilização de dispositivos mecânicos, para descentralizar aquela que era uma produção artesanal, na qual os processos transformadores ocorriam e eram dominados por um só profissional.

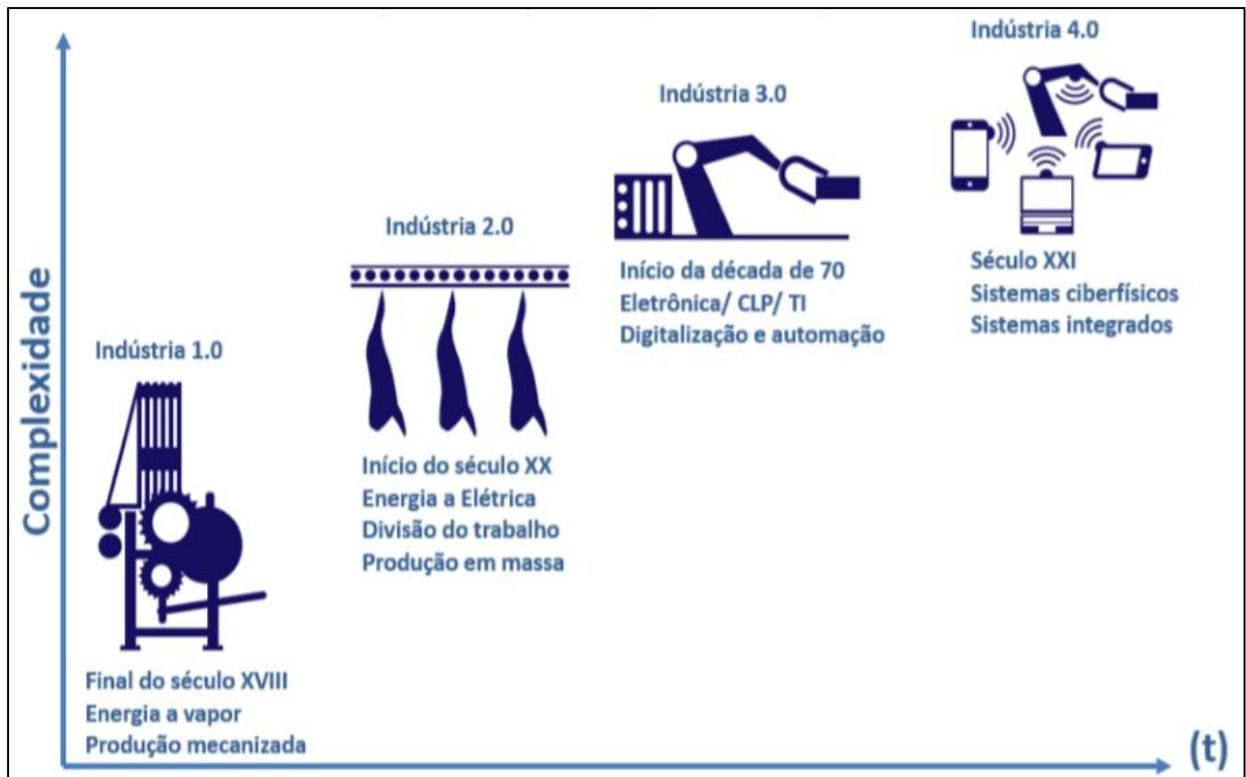
A segunda revolução industrial veio em 1850 a partir do uso da eletricidade e o surgimento da linha de produção criada por Henry Ford, invenção que proporcionou o surgimento da produção em massa e contribuiu para incrementar os processos produtivos, permitindo não apenas uma produção em larga escala, como a redução de tempo e custos da produção. Esse segundo momento da história das revoluções da indústria também ficou conhecido pela divisão do trabalho e o desenvolvimento do sistema Taylorista.

Após a segunda guerra mundial, o uso de computadores e de dispositivos robóticos para fins industriais marcou a história com o início da terceira revolução industrial, mais uma vez repensando a produção, realocando os insumos da melhor forma possível e com o objetivo de obter melhores resultados (PEINALDO; GRAEMIL, 2007). A terceira revolução industrial tem seu início na década de 1970 e foi impulsionada pelo uso da eletrônica, tecnologia da informação e maior automatização dos processos de produção (KAGERMANN; LUKAS; WAHLSTER, 2011). Tudo isso serviu de base para o que seria a maior e mais impactante revolução industrial já vivenciada pela humanidade.

A indústria 4.0, como é chamada a quarta e atual revolução industrial, surgiu, enquanto termo conceitual, em 2011, que por sua vez, consiste na utilização de recursos tecnológicos inteligentes para gerenciamento e automação de máquinas, sistemas, informações e outros recursos. Esse termo foi criado na Alemanha, após uma parceria entre empresários, políticos e acadêmicos. Assim, desde então, essa atual revolução industrial vem sendo estruturada a partir do que há de mais moderno em automação e sistemas inteligentes de comunicação dentro dos centros industriais, além de estar servindo como uma iniciativa promissora quanto aos possíveis benefícios da redução de custos, economia de energia e o aumento da segurança (LAURETH, 2014).

A fim de ilustrar e melhor compreender e identificar os principais marcos e desenvolvimento das revoluções industriais, a figura 1 pode ser visualizada a seguir. Além disso, entende-se que para se estudar a Indústria 4.0 é de suma importância discorrer sobre as evoluções que a precederam e deram base para que a quarta revolução existisse.

Figura 1 - Os quatro estágios das revoluções industriais



Fonte: Yanai *et al.* (2017)

5.2 INDÚSTRIA 4.0

A indústria 4.0 pode ser definida como um termo que agrega tecnologias e valor às organizações, uma vez que as fábricas inteligentes podem trabalhar com uma abordagem nova de produção, com máquinas, instalações e sistemas de armazenagem interligados e com intercâmbio de informações em tempo real com sistemas variados. Ademais, é com a indústria 4.0 que se observa a possível conexão entre toda a cadeia de valor. Por exemplo, o aspecto principal da fábrica inteligente está na conexão em tempo real de pessoas, equipamentos e dispositivos em geral (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015). Logo, equipamentos interconectados em uma rede como a Internet resultaria em uma convergência do mundo físico e do mundo virtual, sob a forma de sistemas ciber-físicos, os CPS (“Cyber-Physical Systems”) (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Dessa forma, a integração de manufatura aditiva, inteligência artificial, internet das coisas, biologia sintética e sistemas ciber-físicos são características comuns dessa nova realidade do mundo industrial. Ademais, a utilização desses recursos, individuais ou simultaneamente, gera inúmeras e positivas mudanças mercadológicas, nas mais diversas áreas. Dessa forma, para facilitar a compreensão do conceito da Indústria 4.0, estudiosos tendem a descrever esse fenômeno com base em seus princípios de design e tendências de tecnologia subjacentes (ZHENG *et al.*, 2018).

No entanto, nessa perspectiva, Ghobakhloo (2018) afirma que os princípios de design da Indústria 4.0 contribuem para que se questione a imprecisão da Indústria 4.0, fornecendo uma sistematização do conhecimento e descrevendo os constituintes desse fenômeno. Assim, esses princípios de design permitem que os fabricantes prevejam o progresso da adaptação da Indústria 4.0 e concedam a eles o conhecimento do "como fazer" no desenvolvimento de procedimentos e soluções adequados necessários para a transição em direção a Indústria 4.0. Essa imprecisão se dá em virtude das diversas tendências tecnológicas, quase que incontroláveis. Logo, as inovações tecnológicas digitais avançadas que, coletivamente, permitem o surgimento da nova tecnologia industrial digital é chamada de Indústria 4.0.

Entre os diversos benefícios que a indústria 4.0 pode oferecer é permitir a possibilidade do uso de dispositivos habilitados para simular a capacidade humana, o que reduz significativamente a frequência do erro nas tomadas de decisões, já que estes dispositivos contam com softwares desenvolvidos para este fim. Além de poder contar com a comodidade de possuir objetos conectados à internet (IoT), facilitando e reduzindo a necessidade de ações humanas. Permite ainda a união das ciências para fins de construção de

partes biológicas, revolucionando a medicina e a forma de encarar muitas doenças e deficiências. Propicia ainda a integração de ambientes físicos e digitais, aumentando a possibilidade de previsão do erro e a aplicação de manutenção preventiva mais eficaz.

Entretanto, apesar dos diversos benefícios citados, sabe-se que no contexto da Indústria 4.0, os computadores interconectados, materiais inteligentes e máquinas inteligentes se comunicam, interagem com o ambiente e, eventualmente, tomam decisões com o mínimo envolvimento humano (GILCHRIST, 2016). Em virtude disso, a conexão digital, o desenvolvimento e o compartilhamento de informações, como o verdadeiro poder da Indústria 4.0, podem ter impactos contraditórios, especialmente na sustentabilidade da tríplice linha de base (econômica, ambiental e social) (KAMBLE *et al.*, 2018). Assim, é importante analisar o desenvolvimento desse cenário entendendo que nem tudo será positivo.

A partir do exposto, entende-se que o uso dos conceitos e implementação da Indústria 4.0 em uma organização propicia alcançar melhores resultados produtivos, que são anseios básicos de qualquer indústria, por exemplo, o aumento da lucratividade e redução de custos e tempo de produção. Mas as propostas da atual revolução industrial vão além do convencional, pois esta pode desfrutar do exponencial crescimento tecnológico que o mundo contemporâneo vivência, para aprimorar a forma de produzir, com resultados que variam do curto ao longo prazo, promovendo eficiência operacional, melhorias no gerenciamento de recursos, minimização de manutenções e substituições, aprimoramento da visibilidade do produto, reutilização e redução de resíduos, conexão com novos mercados, automatização da produção, entre outros benefícios. Com isso, acaba sendo inquestionáveis os motivos para que as empresas se enquadrem nessa nova realidade industrial.

5.3 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

A ideia da Indústria 4.0 ou manufatura avançada, como também é conhecida, é focada em alguns pilares como a computação em nuvem, Big Data, Internet das coisas e mobilidade e segurança. Além disso, esses pilares cooperam para a Indústria 4.0 possa alcançar seu objetivo, a saber: estabelecer interligação entre o real e o virtual, visando a estruturação de fabricas inteligentes, nas quais a produção não é mais focada na repetição constante de movimentos e atividades puramente técnicas. A partir de então, existirá uma troca de dados entre maquinas e homens, tornando a processo produtivo automatizado e mais eficiente.

Contudo, até então, bastante foi falado sobre a Indústria 4.0. Logo, agora será tratado sobre as tecnologias que envolvem essa revolução. É sabido que esse fenômeno engloba

diversas tecnologias, porém, neste estudo vamos focar nas principais, como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial e Big Data.

Basicamente IOT é a comunicação entre dispositivos. A Internet das Coisas trata-se de um ecossistema que conecta objetos físicos, através de um endereço de IP ou outra rede, para trocar, armazenar e coletar dados para consumidores e empresas através de uma aplicação de software (MOON, 2016). O exemplo mais usado é que sua geladeira vai saber que o leite acabou e vai poder comprar mais através da internet.

A Internet das Coisas descreve a revolução já em curso que pode ser observada no número crescente de dispositivos habilitados para internet. Nesse contexto, a IoT refere-se a um estado onde “coisas”, como objetos, ambientes, veículos e roupas estão capacitados a terão cada vez mais informações associadas a eles, e podem se conectar e se comunicar uns com os outros e com demais dispositivos habilitados para a web (REVELL, 2013).

Adicionalmente, Moon (2016) explica haver distinções no meio IoT no que se refere a serviços e produtos voltados às aplicações na indústria e aos consumidores, ou seja, usuários finais. Entende-se então a ocorrência de uma Industrial IoT (IIoT, ou “Internet das Coisas Industriais”) em contraponto a uma Consumer IoT (CIoT, ou “Internet do Consumidor de Coisas”). Para o autor, as inovações no campo do consumo tratam-se principalmente de produtos de hardware, enquanto as de cunho industrial têm sido principalmente de software (ou seja, no âmbito da inteligência artificial, da aprendizagem de máquina e demais métodos de análise de dados).

Por sua vez, a inteligência artificial surgiu na década de 50 com o objetivo de desenvolver sistemas para realizar tarefas que, no momento, são melhor realizadas por seres humanos que por máquinas, ou não possuem solução algorítmica viável pela computação convencional. Com isso, para Ribeiro (2010), a inteligência artificial é uma ciência multidisciplinar que busca desenvolver e aplicar técnicas computacionais que simulem o comportamento humano em atividades específicas. Assim, algumas das áreas de aplicação e contribuições da inteligência artificial são jogos, compreensão da linguagem natural, modelagem semântica, modelagem do desempenho humano, planejamento e robótica, linguagens e ambientes para inteligência artificial, redes neurais e algoritmos genéticos.

Sabe-se que no contexto da Indústria 4.0 a inteligência artificial elabora algoritmos inteligentes que permitem aos computadores armazenar grande quantidade de conhecimento sobre operações corporativas, onde esses sistemas são capazes de praticar as negociações reconhecendo padrões de difícil percepção para o ser humano, além de fornecer capacidade adicional de aprender com sucessos e fracassos obtidos em cada operação realizada.

Por último, um tipo de tecnologia que está diretamente associada à Indústria 4.0 é Big Data. O termo big data se refere ao alto volume de dados virtuais, que são complexos, diversos, heterogêneos e que provêm de múltiplas e autônomas fontes, com controles distribuídos e descentralizados (REVELL, 2013). Esse movimento já é realidade para empresas e indivíduos, e apresenta tendência emergente graças à expansão das redes computacionais, do armazenamento de dados e da capacidade de coleta de dados.

5.4 INDÚSTRIA 4.0 NA PRÁTICA

Para o usufruto desse conjunto de benefícios vinculados a Indústria 4.0, se faz necessário atentar para investimento em uma estrutura mínima que possa permitir um ambiente tecnologicamente “fértil” para as mudanças e implantações vindouras, a fim de que a estrutura física e virtual encontre-se em simbiose, maximizando a absorção de informações para aplicação imediata ou posterior, no caso de auxílio ao processo decisório ou até para previsão de tendências (SISTEMA FIRJAN, 2016). Desse modo, segundo Hermann, Pentek e Otto (2015), para implantar o conceito de Indústria 4.0 em um sistema manufatureiro, é possível elencar seis princípios, que são eles: interoperabilidade, virtualização, descentralização, adaptação em tempo real da produção, orientação a sistemas modulares e serviços.

Embora esses princípios tenham sido desenvolvidos para aplicação em um sistema isolado, eles são também aplicáveis aos sistemas manufatureiros em geral. A seguir será tratado sobre esses princípios:

Quadro 1 – Princípios para preparação de um ambiente no contexto da Indústria 4.0

Princípios	Impactos
Interoperabilidade	Permite a interligação de sistemas ciber-físicos com conexões sem fio a fim de promover o compartilhamento de informações de modo unificado, mesmo que de diversos fornecedores.
Virtualização	Permite que modelos virtuais possam simular processos produtivos reais, baseados em dados coletados a partir de sistemas ciber-físicos.
Descentralização	O processo transformador passa a ser gerido pelo próprio

	produto em tempo real.
Adaptação	Em tempo real durante a produção, todo o processo produtivo pode sofrer ações corretivas, no caso de falhas, ou ciclos produtivos modificados. No caso de personalização do produto, porém, os dados são fornecidos pelo sistema ciberfísico.
Orientação a serviços	Todos os dados coletados são armazenados na nuvem e a qualquer momento podem ser acessados pelos equipamentos que compõem o sistema produtivo.
Sistemas modulares	Proporcionam maior flexibilidade produtiva, permitindo produção customizada ou personalizada em menores lotes.

Fonte: Adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2015).

No Brasil, a possibilidade de implantação do modelo proposto pela indústria 4.0 e seus princípios sinaliza a necessidade de profundas mudanças nos sistemas produtivos atuais, suas estruturas físicas, tecnológicas e capacitação de pessoal. Esses desafiantes investimentos proporcionarão melhores condições para implantação, desenvolvimento e usufruto dos benefícios indicados pela indústria 4.0. Desse modo, a utilização dos conceitos, ferramentas e princípios anunciados pela quarta revolução industrial, apesar de requerer investimentos intensos, prometem atraentes e encantadores resultados, que indicam a viabilidade na implantação da mesma, pois consegue amarrar redução de custos e aumento de lucros de forma muito segura, além dos muitos benefícios elencados neste trabalho.

6 METODOLOGIA

6.1 TIPO DE ESTUDO

Este estudo é de tipo exploratório e descritivo. É exploratório, tendo em vista que pretende familiarizar-se com o fenômeno que está sendo investigado, Indústria 4.0, de modo que as pesquisas subsequentes possam ser concebidas com uma maior compreensão, entendimento e precisão sobre a temática pesquisada. Esta pesquisa também é de tipo descritiva, pois pretender observar, registrar e analisar o fenômeno da Indústria 4.0 a fim de melhor conhecê-lo na área da engenharia de produção. Com isso, o pesquisador não interfere no objeto de estudo, mas descreve-o, conforme afirma Vergara (2009). Além disso, esta pesquisa é do tipo transversal, ou seja, analisa o fenômeno de interesse medindo cada variável em um único instante de tempo.

6.1.1 tipo de pesquisa

O tipo de pesquisa do estudo é o levantamento bibliométrico, que, segundo Araújo (2006) é uma técnica que serve para a medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico. Assim, cabe também destacar que para o autor a diferença básica entre bibliografia e a bibliometria é que esta última, na busca por uma avaliação objetiva da produção científica, apresenta mais métodos quantitativos do que discursivos. Nesse sentido, a bibliometria ou pesquisa bibliométrica pode ser entendida como uma estratégia que se propõe a aferir a atividade científica sobre temas específicos e, com isso, antecipar tendências detectadas por meio de estudo e análise de literatura mais representativa do estado da arte nos meios científicos. Tais métodos são empregados para avaliar a produção acadêmica nacional e internacional, identificar artigos, autores e temas mais relevantes e atuais.

6.1.2 abordagem

Esta pesquisa apresenta abordagem quantitativa, apoiada na estatística descritiva, propõe-se a traduzir em números informações, de forma a classificá-las e analisá-las, valendo-se de recursos e técnicas estatísticas (método dedutivo). Logo, a abordagem desta pesquisa busca descrever significados que são considerados como inerentes aos objetos e atos, por isso

é definida como objetiva e tem como característica permitir uma abordagem focalizada e pontual e estruturada, utilizando-se de dados quantitativos. Quando relacionado com a análise dos dados, as técnicas de análise são dedutivas (isto é, partem do geral para o particular) e orientadas pelos resultados.

6.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

A partir do estudo bibliométrico, utilizado para mapeamento de artigos científicos, recorre-se a técnica de seleção de amostra do tipo por conveniência. Amostras por acessibilidade ou por conveniência: neste tipo, o pesquisador seleciona os elementos a que tem acesso, admitindo que esses possam, de alguma forma, representar o universo. Dessa forma, neste estudo, os esforços do trabalho estão concentrados em encontrar artigos na área da engenharia de produção que discorreram sobre a Indústria 4.0 nos anais do ENEGEP. Para tanto, optou-se pela utilização de palavras-chave para atingir o objetivo proposto pelo trabalho. A palavra-chave escolhida foi apenas “Indústria 4.0”, tendo em vista que a base de dados onde a pesquisa será realizada não oferece a opção de busca por descritores. Com isso, não será preciso recorrer a operadores booleanos.

Ademais, a população desse estudo constitui o conjunto de todos os artigos publicados nos anais do ENEGEP. Por sua vez, a amostra deste estudo é composta pelos artigos que foram publicados nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), entre os anos 2011 a 2019 e que trataram sobre a temática Indústria 4.0. Esse recorte temporal (2011-2019) se dá pelo fato da temática estudada só ter sido lançada ao mundo a partir do ano de 2011. Dessa forma, esses artigos foram selecionados em um único local de origem (anais do ENEGEP) e apresentam como características fundamentais para comporem a amostra: discorrerem sobre a Indústria 4.0, estarem disponíveis para acesso público e devem ter sido escritos em português.

6.3 PERÍODO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

O estudo foi realizado nos meses de fevereiro a junho de 2022.

6.4 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Como critério de inclusão deste estudo é fundamental que os artigos mapeados façam parte dos anais de trabalhos publicados no ENEGEP entre os anos de 2011 a 2019 e que tenham sido coletados a partir da busca em palavra-chave por Indústria 4.0. Logo, esses artigos só poderão compor a amostra da pesquisa se tratarem em seu escopo sobre a Indústria 4.0 e estiverem disponíveis para leitura. Por outro lado, serão excluídos os artigos que forem encontrados no momento da busca, mas que, por algum motivo, não estejam disponíveis para download. Serão excluídos também os artigos que foram escritos em um idioma diferente do português.

6.5 COLETA DE DADOS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A partir da técnica de levantamento bibliométrico, os dados serão coletados por meio da base de dados do site da ABEPRO (www.abepro.org.br/publicacoes/), onde será realizada a busca dos trabalhos científicos que tratam sobre a Indústria 4.0. Assim, será informado no campo de busca no site em palavras-chave: “Indústria 4.0”. Os textos que possuem tal conceito em seu escopo serão selecionados. Esses artigos, no primeiro momento, serão separados por ano de publicação para que, posteriormente, possam ser analisados individualmente de acordo com os objetivos da pesquisa. Para tanto, a pesquisa focará nos seguintes pontos: descobrir quais as regiões do país onde as pesquisas foram realizadas, as universidades que mais tiveram artigos publicados sobre o tema, os autores que mais contribuíram com a área e os principais resultados alcançados nos trabalhos desenvolvidos. Adicionalmente, o período de coleta de dados será durante os meses de maio, junho e julho e durante as atividades do grupo de pesquisa.

6.6 ANÁLISE DE DADOS

A fim de alcançar o objetivo principal do trabalho e através de uma abordagem quantitativa, os dados serão tabulados e analisados com o suporte do Microsoft Office Excel. Assim, se utilizará da estatística descritiva para analisar os dados coletados e será recorrido às medidas de frequência, tendência e distribuição, a saber: média, mediana, moda e desvio padrão. Logo, os artigos selecionados serão analisados por meio dessa ferramenta estatística a partir dos objetivos desta pesquisa: descobrir quais as regiões do país onde as pesquisas foram

realizadas, quais as universidades que mais tiveram artigos publicados sobre o tema, os autores que mais contribuíram com a área e os principais resultados alcançados nos trabalhos desenvolvidos sobre a Indústria 4.0.

6.7 IMPACTOS E RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que esta pesquisa contribua com o desenvolvimento do conhecimento científico na área da engenharia de produção, particularmente, ao se investigar um tema contemporâneo e que está na vanguarda do mundo dos negócios: Indústria 4.0. Além disso, espera-se que os resultados decorrentes deste estudo possam dar suporte para novas pesquisas sobre essa temática, uma vez que, no Brasil, ainda pouco se fala sobre Indústria 4.0 na área da engenharia de produção quando comparado com países como EUA, China e Alemanha.

Além disso, é relevante desenvolver um estudo dessa categoria em virtude de seu ineditismo e por auxiliar com um aprofundamento de uma área pouco conhecida no Brasil, ou seja, a contribuição de regiões, universidades, pesquisadores e achados científicos sobre a quarta revolução industrial.

6.8 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

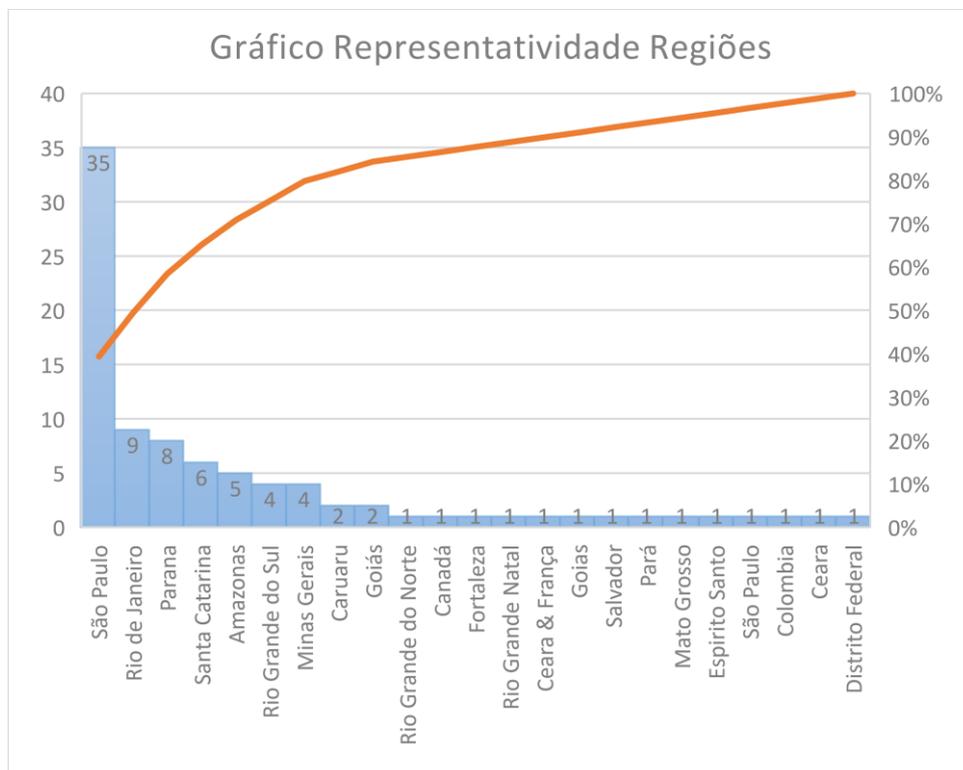
Em virtude da técnica utilizada para desenvolvimento da pesquisa, bibliometria, não será necessário apresentar o Termo de Compromisso Livre e Esclarecido (TCLE), conforme normas que regulam a realização de trabalhos na hipótese de utilização de seres humanos ou animais, direta ou indiretamente, uma vez que não haverá a participação de sujeitos dessas categorias. Logo, todo o trabalho de pesquisa está concentrado na busca e análise de artigos científicos.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observando o trabalho e levando em consideração a pesquisa bibliométrica realizada, podemos apontar como os principais resultados encontrados a partir dos objetivos específicos propostos para o estudo:

1. Regiões nas quais as pesquisas foram realizadas:

Gráfico 1 – Regiões envolvidas com a pesquisa sobre indústria 4.0

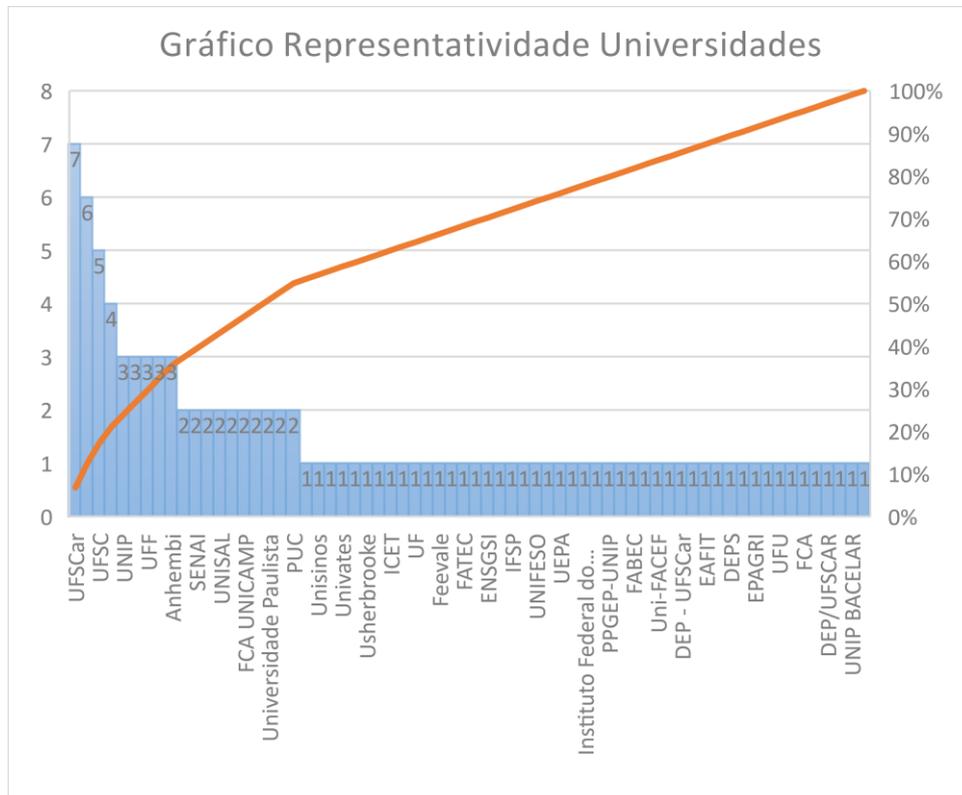


Fonte: Autor (2022)

Frente aos 133 artigos encontrados na abordagem relacionada aos estados 44 artigos foram excluídos pelo critério de exclusão por não contemplarem tais informações que endossassem resultados comprobatórios, então das diversas abrangências nacionais destaque para os estados de São Paulo (35), Rio de Janeiro (9), Paraná (8), Santa Catarina (6) e Amazonas (5) a somatória das publicações destes estados representam 71%.

2. As universidades que mais tiveram artigos publicados sobre o tema:

Gráfico 2 – Universidades envolvidas com a pesquisa sobre indústria 4.0

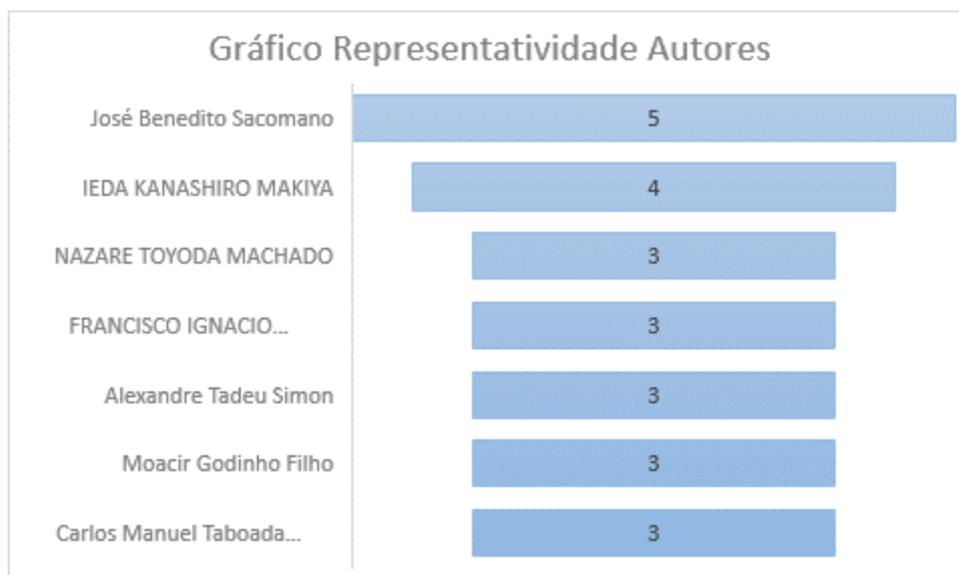


Fonte: Autor (2022)

No âmbito acadêmico destaque para as universidades UFSCAR (7), UFPR (6), UFSC (5) E UFAM (4) com 21% de representatividade frente aos 133 artigos analisados, no entanto para este questionamento foram descartados 29 artigos pelos critérios de exclusão devido à falta de informações para tal questionamento.

3. Os autores que mais contribuíram com a área:

Gráfico 3 – Autores envolvidos com a pesquisa sobre indústria 4.0



Fonte: Autor (2022)

Com bastante relevância nas publicações destacaram-se José Benedito Sacomano (5), Ieda Kanashiro Makiya (4), Nazaré Toyoda Machado (3), Francisco Ignácio Giocondo César (3), Alexandre Tadeu Simon (3), Moacir Godinho Filho (3), Carlos Manuel Taboada Rodriguez (3).

Em suma as respostas trouxeram uma convergência nos resultados totais à medida que 65% dos artigos encontrados provieram das regiões Sul e Sudeste aonde está situada os maiores polos de publicações UFSCAR de São Paulo, UFPR do Paraná e UFSC de Santa Catarina de onde advém também os principais autores: José Benedito Sacomano, formado em Engenharia Civil e Mecânica pela USP, sempre presente na vida acadêmica, foi fundador do Laboratório da Indústria 4.0 e do Núcleo de Inovação Tecnológica da Unip, ora também foi secretário municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia; Ieda Kanashiro Makiya Docente da Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas - FCA-UNICAMP, desempenhou seu Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Manufatura ora integrante do Laboratório de Estudos de Gestão de Operações Sustentáveis, vinculada ao Centro de Pesquisas em Engenharia de Produção com ênfase nos seguintes temas: Sustentabilidade, Qualidade & Produtividade, Smart Cities, Indústria 4.0, Economia Criativa; Francisco Ignácio Giocondo Cesar Engenheiro Mecânico (UNESP) com Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba, recebeu prêmio internacional de "IEOM Distinguished Educator Award" IEOM Society - International Congress on Industrial Engineering and Operations Management -

Bogota, Colombia. A correlação dos resultados deu-se à medida que o enfoque das abrangências dos resultados compartilhou de pesquisas relacionadas a ênfase dos estudos dos principais autores.

4. Os principais resultados alcançados nos trabalhos desenvolvidos:

Gráfico 4 – Principais resultados envolvidos com a pesquisa sobre indústria 4.0



Fonte: Autor (2022)

Em contexto geral, a abordagem dos principais resultados alcançados dos artigos analisados foram Sistemas Produtivos e Operacionais (33), Logística e Cadeia de Suprimentos (7), Planejamento Estratégico e Operacional (6).

A confluência entre os principais resultados e o envolvimento da indústria 4.0 denotam um certo avanço em áreas mais específicas da Engenharia de Produção, tais como, Engenharia de Operações e Processo, Engenharia Operacional e Engenharia Econômica, à medida que as buscas a respeito das tecnologias sistêmicas que sustentam este processo revolucionário que são: Internet das coisas, realidade aumentada, simulação, manufatura aditiva, big data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos. Neste contexto, além da economia de escala e de escopo, busca-se agregar valor em todo o processo.

Apesar disso, ainda estamos muito distantes da nova revolução de desenvolvimento tecnológico mundial. Para isso, fica a sugestão para futuras pesquisas o aprofundamento de tais resultados em novas áreas.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por objetivo principal realizar um estudo bibliométrico a partir dos artigos publicados nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), entre os anos 2011 a 2019 que trataram sobre a Indústria 4.0, com o propósito de se conhecer a situação atual da pesquisa acadêmica nessa temática.

Conclui-se que a temática que a Indústria 4.0 pode oferecer trouxe relevantes ganhos industriais, socioeconômicos e sustentáveis também fica evidente que a era 4.0 já é uma realidade que promove a competitividade de mercado que as organizações desejam para obtenção do sucesso e que de forma positiva agregaria para o desenvolvimento global.

A Engenharia de Produção, assim como todas as áreas relacionadas a Indústria 4.0, precisam estar inseridas neste contexto e adaptar-se as novas realidades demandadas. Da mesma forma, as organizações também precisam estar atentas à essas discussões, para que estejam prontas para as mudanças, impactos e desafios da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução história e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun. 2006.
- SCHROEDER, A.; *et al.* Capturing the benefits of industry 4.0: a business network perspective. **Prod. Plan. Control.**, pp. 1-17, 2019.
- GILCHRIST, A. Industry 4.0: the Industrial Internet of Things. **Springer**, Heidelberg. 2016.
- NASCIMENTO, V.; *et al.* Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal. **J. Manuf. Technol. Manag.**, v. 30, n. 3, p. 607-627, 2019.
- BEIER, S. *et al.* Sustainability aspects of a digitalized industry—A comparative study from China and Germany. **Int. J. Precis. Eng. Manuf. Green Technol.**, v. 4, n. 2, pp. 227-234, 2017.
- TORTORELLA, G.L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **Int. J. Prod. Res.**, v. 56, n. 8, pp. 2975-2987, 2018.
- KAGERMANN, H.; LUKAS, W.; WAHLSTER, W. Industrie 4.0: mit dem internet der dinge auf dem weg zur 4. industriellen revolution. **VDI nachrichten**, Berlin, n. 13, abr. 2011.
- LAURETH, Waleska Camargo. Convergência Tecnológica, Educação e Trabalho: do discurso social global aos desafios regionais. **Revista da Associação Brasileira de Estudos do Trabalho**. João Pessoa, v. 13, n. 2, p. 279-293, jul./dez. 2014
- L.D. Xu, E.L. Xu, L. Li Industry 4.0: state of the art and future trends. **Int. J. Prod. Res.**, v. 56, n. 8, pp. 2941-2962, 2018.
- GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **J. Manuf. Technol. Manag.**, v. 29, n. 6, pp. 910-936, 2018.
- MOON, B. Internet of Things & Hardware Industry Overview 2016. **SparkLabs Global Ventures**, 2016.
- PEINALDO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.
- ZHENG, Z.; *et al.* Smart manufacturing systems for Industry 4.0: conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Front. Mech. Eng.**, v. 13, n. 2, pp. 137-150, 2018.
- REVELL, S. Internet of Things (IoT) and Machine to Machine Communications (M2M) **Challenges and Opportunities**. Final Paper, London, UK Google Scholar, 2013.
- RIBEIRO, R. **Uma Introdução à Inteligência Computacional: Fundamentos, Ferramentas e Aplicações**. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010.

KAMBLE, A.; *et al.* Sustainable Industry 4.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Saf. Environ. Prot.**, v. 117, n. 1, pp. 408-425, 2018.

SISTEMA FIRJAN. Panorama da Inovação: Indústria 4.0. Abril, 2016. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4&inline=1>>. Acesso em: 10 março. 2020.

SILVA, M. R.; MASSAO HAYASHI, C. R.; INNOCENTINI HAYASHI, M. C. P. InCID: **Revista de Ciência da Informação e Documentação**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 1, p. 110-129, jan./jun. 2011.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

MING, Z.; *et al.* Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. **Int. J. Adv. Manuf. Technol**, pp. 1-18, 2019.

LIU, Xiu; BAE, J. Urbanization and industrialization impact of CO2 emissions in China. **J. Clean. Prod.**, v. 172, n. 1, pp. 178-186, 2018.