

# Simulação como Tecnologia Habilitadora da Indústria 4.0: Uma Revisão da Literatura

Gabriel Randon e Ivandro Cecconello

## Resumo

No atual contexto de desenvolvimento das organizações rumo a Indústria 4.0, processos industriais são diariamente bombardeados por uma diversidade de variáveis cada vez maior, além da necessidade constante de melhorias e evoluções tecnológicas exigidas pelo mercado. Neste cenário a simulação computacional aplicada tem papel fundamental, assim como outras ferramentas, constituem as chamadas tecnologias habilitadoras. Este estudo busca compreender como esta ferramenta habilitadora está sendo percebida e implementada. Para tanto foi realizada Revisão Sistemática da Literatura, apresentando uma visão de como os artigos científicos estão sendo publicados quanto a sua distribuição geográfica, autorias, áreas de pesquisas, entre outras características. A tecnologia da simulação como ferramenta de auto aprendizado proporciona autonomia a sistemas de manufatura inteligentes, gerando tomada de decisão dinâmica e automática. Realizando feedback ao sistema tomador de decisão, a simulação gera oportunidades de melhorias de performance e previsão de riscos, aumentando os níveis de segurança. Também, extrapola os paradigmas da simulação como ferramenta de otimização estatística e posiciona-se cada vez mais no mundo da virtualização através de imagens, realidade virtual, layout fabril, entre outras representações gráficas.

## Palavras-chave

Simulação Computacional, Sistemas de Manufatura, Industria 4.0, Revisão da Literatura.

# Simulation as Enabling Technology of Industry 4.0: A Literature Review

## Abstract

In the current context of organizations' development towards Industry 4.0, industrial processes are daily bombarded by a growing diversity of variables, in addition to the constant need for improvements and technological developments required by the market. In this scenario the computational simulation applied has a fundamental role that, like other tools, constitute the so-called enabling technologies. This study seeks to understand how this enabling tool is being perceived and implemented. For that, a Systematic Literature Review was performed, presenting a vision of how the scientific articles are being published regarding their geographic distribution, authorship, research areas and other characteristics. Simulation technology as a self-learning tool provides autonomy for intelligent manufacturing systems, generating dynamic and automatic decision making. By providing feedback to the decision-making system, the simulation provides opportunities for performance improvements and risk prediction, increasing safety levels. It also goes beyond the paradigms of simulation as a statistical optimization tool and is increasingly positioned in the world of virtualization through images, virtual reality, factory layout, among other graphical representations.

## Keywords

Computer Simulation, Manufacturing Systems, Industry 4.0, Literature Review

## I. INTRODUÇÃO

Decisivo para que os objetivos das empresas sejam atingidos a tecnologia impõe paradigmas a serem transpostos. Na base de uma digitalização avançada dentro de fábricas, a combinação do uso da internet e das tecnologias orientadas para o futuro no campo de objetos inteligentes (máquinas/produtos) parece resultar em uma nova mudança de paradigma fundamental na produção industrial [27]. Estas aceleradas transformações das tecnologias digitais e suas implementações no ramo industrial formam uma nova era, a Indústria 4.0 (I4.0). Na formação desta quarta revolução são fortemente implementadas ferramentas digitais como tecnologia cloud, a internet das coisas, sistemas físicos-cibernéticos, realidade virtual aumentada, entre outras. Com

elevado grau de colaboração nesta jornada, destaca-se a ferramenta de simulação computacional, capaz de reproduzir em ambiente virtual cenários e características, apresentando em velocidade quase instantânea fatos e ocorrências futuras [39].

Para tornar os processos mais eficientes, muitas decisões precisam ser tomadas, como atribuição de tarefas e materiais, máquinas ou sequências para o processamento de trabalhos, etc. No entanto, a personalização crescente de produtos exige que esses sistemas lidem com maior variabilidade de produtos, juntamente com tamanhos de lote decrescentes, gerando cadeias e processos cada vez mais complexos. Portanto, o gerenciamento eficiente desses sistemas requer métodos confiáveis para o escalonamento de todos os processos e para alocação dos recursos relacionados [44]. Os sistemas de

manufatura incorporam recursos flexíveis, reconfiguráveis e inteligentes. Avanços em tecnologia e tendências como a Indústria 4.0 irão revolucionar a indústria de manufatura [4].

Os modelos computacionais de simulação para sistemas de manufatura reproduzem uma estrutura básica do modelo fabril sob avaliação, trazendo informações globais como layout, recursos e estrutura física, assim como detalhamentos dos processos, volumes de produção, tempos e características dos produtos [39]. Para tal construção, diversos softwares de modelagem estão disponíveis no mercado, desde sistemas gratuitos, porém mais limitados, até grandes fornecedores globais de soluções industriais completas (software, hardwares, automações, sistemas de comandos, etc.). O adequado uso destes gera resultados que mostram efetivamente melhorias na performance de produção [20]. Portanto, a simulação é uma das principais técnicas mais usada para lidar com o gerenciamento de operações em processos de manufatura e negócios. Sua aplicação pode ir desde problemas internos de logística até complexas linhas de produção, entre outros. Como pode ser visto, a simulação é uma técnica sólida com muitos anos de aplicação e tem lidado com muitos problemas diferentes [64].

Percebendo o vasto campo de aplicação desta ferramenta e suas infinitas possibilidades, este estudo busca visualizar e compreender como estão sendo apresentadas as publicações científicas sobre sistemas de simulação, bem como seus impactos na nova era indústria, a “Indústria 4.0”. De forma a contribuir com os avanços tecnológicos e estudos da área, este trabalho entende não ser totalmente abrangente nem mesmo avaliação final e exclusiva sobre o tema, mas oportuniza um apanhado geral baseado nas atuais publicações mundiais.

Assim, este estudo foi estruturado na forma de revisão sistemática do assunto, definido como escopo de pesquisa a simulação computacional aplicada em sistemas de manufatura. Para tanto foi realizada busca eletrônica de conteúdo em bases de dados científicos atualizadas, agrupamento e filtragem dos conteúdos para apresentação e conclusão final.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

### A. Indústria 4.0

A indústria é a parte da economia responsável pela produção de bens materiais e que são altamente mecanizados e/ou automatizados. Desde o início da industrialização, saltos tecnológicos levaram a mudanças de paradigma que hoje são chamadas revoluções industriais [27]. A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, originada na Alemanha em 2011, engloba uma série de recursos inovadores a fim de construir o conceito de fábricas inteligentes [64]. Ela é impulsionada por quatro disrupções tecnológicas: (1) o surpreendente aumento nos volumes de dados, na capacidade computacional e na conectividade; (2) o surgimento de capacidades analíticas e de inteligência de negócios; (3) nova interação homem-máquina; e (4) a transferência de instruções digitais para o mundo físico [66].

Um ponto fundamental para alcançar a integração da estrutura I4.0 é a contribuição humana que será melhorada com o desenvolvimento de habilidades profissionais das partes interessadas [27]. A novidade em tal cenário não está em uma nova tecnologia, mas combina a tecnologia disponível de uma nova maneira. A disponibilidade de dados em massa

permite o desenvolvimento de serviços, que até agora não eram possíveis, como por exemplo, sistemas de navegação com informações de tráfego direcionadas ao usuário. A disponibilidade de dados em massa permite uma variedade de novos modelos de negócios [14].

### B. Simulação como tecnologia habilitadora da Indústria 4.0

Antes mesmo do nascimento da quarta revolução industrial, a simulação já fazia parte das rotinas empresariais, muito usada em análises de otimização, principalmente em modelos matemáticos e estatísticos. Com o exponencial avanço da computação, estes processos foram ampliados e desenvolveram-se softwares com diferentes tecnologias agrupando áreas de conhecimento. Assim, a simulação caracteriza-se como uma ferramenta habilitadora da Indústria 4.0. Pesquisas recentes em otimização de simulação e o crescimento explosivo em poder computacional tornaram viável o uso de simulações para otimizar diretamente projetos e operações de sistemas [66].

Atualmente, o uso de modelagem de simulação em ciência e engenharia está bem estabelecido. Na engenharia, a modelagem de simulação ajuda a reduzir custos, encurtar os ciclos de desenvolvimento, aumentar a qualidade dos produtos e facilita muito o gerenciamento do conhecimento[48]. Uma ferramenta poderosa para resolver problemas estocásticos complexos é a chamada otimização baseada em simulação (SBO), baseada na inserção de um modelo de simulação na função objetivo da otimização. A combinação de ambos permitirá o escalonamento dinâmico e o controle também para sistemas de produção de manufaturas complexas e estocásticas [44]. Para que os resultados da simulação possam ser efetivos, a etapa de modelagem é fundamental e exige amplo conhecimento quanto ao sistema que está sendo montado. Esta etapa traz utilidades além da própria simulação pois proporciona aos envolvidos e gestores significativa exploração e conhecimento dos processos [35].

Todo o ciclo de vida dos produtos na indústria 4.0 está integrado com o sistema de produção, participantes deste ciclo como os consumidores ou até mesmo fornecedores, podem interferir neste processo através da tecnologia da Internet. Assim, cada processo pode fornecer feedback e manipular informações [20]. Neste contexto, percebe-se que a simulação não somente é ferramenta fundamental para construções das soluções 4.0 mas também gera um grande desafio ainda a ser amplamente explorado. Isto dá-se na medida em que cada vez mais fatores internos e externos, permeando as tomadas de decisões, são inseridos aos contextos industriais [66].

## III. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho está baseado na construção de uma visão dos atuais cenários do objeto de estudo, a simulação no contexto da indústria 4.0, utilizando-se da metodologia conhecida como revisão sistemática da literatura. Durante décadas muito discutiu-se sobre a qualidade dos estudos de revisão sistemática e meta-análise, buscando sempre este aprimoramento um grupo de pesquisadores criou em 1996 um guia chamado de QUORUM (Qualidade dos relatos de Meta-análises), o qual foi

novamente resumido e atualizado em 2005, por diversos autores, metodologistas e editores, resultando no aprimoramento e apresentação da ferramenta PRISMA [38].

Para este estudo foi realizada pesquisa em banco de dados internacional Web of Science pois trata-se de um reconhecido e representativo local para pesquisas científicas. Para tal, foram determinadas as palavras chaves “industry 4.0” e “simulation”, pois são termos que trazem o conjunto de intenções de análise. Para a busca relacionar ambos os termos de forma adequada, o operador booleano utilizado foi “AND”, assim pôde-se encontrar os registros contendo as duas palavras de pesquisa.

A pesquisa na base de dados com os critérios de busca trouxe inicialmente um montante de 338 documentos. Em primeiro processo de qualificação foram excluídos 9 publicações duplicadas.

Utilizando-se das ferramentas de seleção e refinamento do próprio site de pesquisa Web of Science, pode-se selecionar somente os artigos científicos que atendiam as características relevantes ao escopo deste estudo. Foram excluídos então registros não ligados aos domínios das áreas de ciência e tecnologia. Neste ponto em questão vale destacar a presença de artigos nas áreas sociais e humanas, e por esta características foram excluídos da base. Ainda com o uso do refinamento da Web of Science, percebeu-se que haviam significativos registros enquadrados em outros formatos de documentos que não artigos científicos, o que também gerou a exclusão de um significativo número de relatos.

Por fim, com objetivo de manter uma seleção de conteúdo clara e consistente, optou-se por manter apenas os registros publicados na língua inglesa e também em formato acesso aberto, garantindo a qualidade das avaliações de conteúdo.

Em resultado deste processo resultou-se em uma base de artigos científicos com 82 registros. Assim, em sequência ao fluxograma PRISMA foi realizada verificação individual de cada registro através da leitura do resumo de cada um deles, elegendo somente aqueles que demonstraram contribuição ao escopo deste estudo. Eliminou-se então outros 26 artigos. Ao final, tem-se uma nova base de dados composta por 56 artigos.

#### A. IDENTIFICAÇÃO DA LITERATURA RELEVANTE

A revisão sistemática tem sido utilizada em inúmeras pesquisas científicas em todo o mundo, apresentando significativa importância nos estudos acadêmicos e empresariais [21]. Contudo, estruturado sob olhares atentos de diversos pesquisadores, autores e interessados na produção científica, o PRISMA [38] propõe uma estrutura de desenvolvimento e/ou avaliação dos estudos de revisão sistemática. No desenvolvimento deste estudo utilizou-se uma importante ferramenta apresentada pela metodologia PRISMA a fim de rastrear e qualificar os artigos mais relevantes, garantindo qualidade e alinhamento ao escopo. Para isto utilizou-se o fluxograma proposto pelo PRISMA, representado na Figura 1.

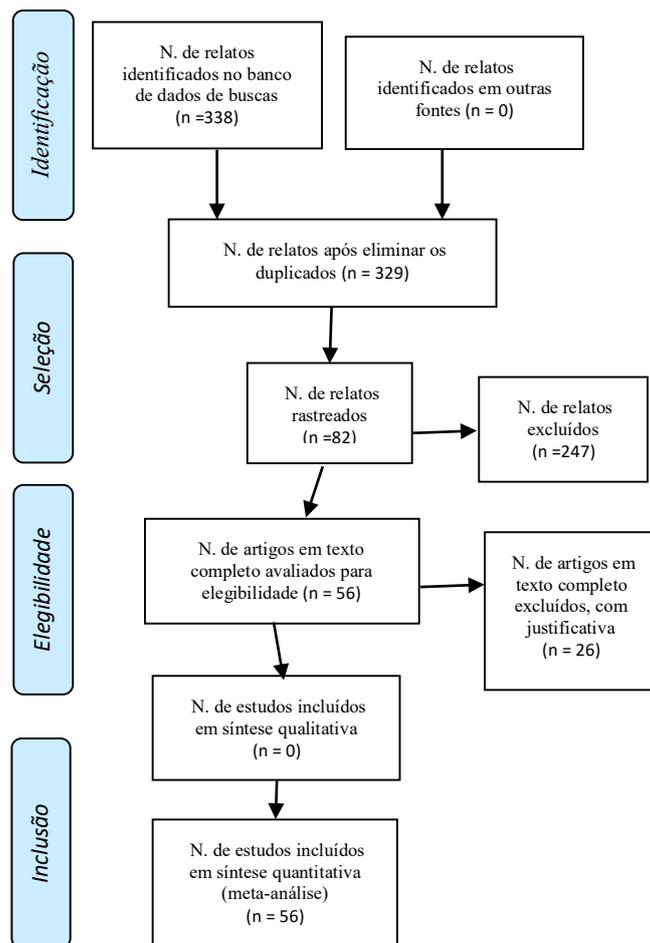


Figura 1: Fluxograma PRISMA

#### B. ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Após a pesquisa das publicações acadêmicas e passadas as etapas de qualificação pelo fluxograma PRISMA, foi realizada análise estatística dos artigos a fim de extrair e visualizar as contribuições e como estes documentos estão distribuídos conforme algum atributos. Para condução deste processo foram aplicadas etapas de pesquisa de palavras comuns entre os textos, buscando selecionar apenas aquelas orientadas ao assunto deste estudo, e ainda observando frases de duas ou três palavras que representam conceitos ou teorias da I4.0 [21]. Foram utilizados dois softwares para análise e representação dos resultados. Inicialmente utilizou-se a ferramenta de análise de resultados do próprio website da Web of Science, para levantamentos de dados estatísticos. Algumas representações gráficas dos resultados puderam ser geradas através desta mesma ferramenta. Em complementação foram exportados os dados da base para o software VOSviewer que através das representações gráficas apresentou visualizações de estatísticas por associação. As seguintes análises puderam ser extraídas:

- Linha do Tempo: apresentação da distribuição dos estudos e artigos conforme suas datas de publicações
- Autores mais influentes: através da verificação da frequência em que os nomes dos autores eram citados,

pode-se avaliar quem foram aqueles que mais aparecem nesta pesquisa.

- Fontes de publicações: mapeamento das principais fontes onde foram publicados os artigos selecionados.
- Distribuição geográfica: a distribuição geográfica dos países onde mais foram publicados artigos selecionados.
- Áreas de pesquisas: esta análise apresenta quais as áreas de pesquisa dentre aquelas limitadas pelas ciências exatas os artigos estão classificados.
- Palavras-chave: as principais citações de palavras chaves dos estudos bibliográficos desta pesquisa são apresentados nesta análise através de uma representação de rede.
- Nuvem de palavras: apresentação das palavras com maior índice de ocorrência nos resumos dos artigos estudados.

#### IV. RESULTADOS

Após aplicação do fluxograma proposto pelo PRISMA, onde pôde-se reestruturar a base de artigos a serem estudados com confiabilidade, obteve-se resultante ao processo 56 publicações científicas.

Pode-se perceber que todos os 56 artigos pesquisados são estudos atualizados pois foram publicados nos últimos 5 anos, incluindo o ano vigente. O que reforça mais ainda a juventude desta temática é a representatividade de mais de 90% deles estarem compreendidos de 2017 em diante. Esta análise está demonstrada na Figura 2.



Figura 2 – Quantidade de artigos por ano de publicação.

Nesta revisão e classificação de artigos, em verificação a autoria dos documentos, pode-se perceber uma baixa quantidade de registros por autor. A maior concentração de publicações para um mesmo autor apresentou 2 ocorrências com 5 autores, todos os demais autores possuem apenas um artigo nesta seleção. A Tabela 1 a seguir apresenta os 5 autores com maior quantidade de publicações.

Tabela 1 – Principais autores

Autores	Artigos
Abonyi J.	2
Bloch S.J.	2
Freitag M.	2
Ruppert T.	2
Schneider M.	2

Para entender onde estão situados os centros de pesquisas mais relevantes para o assunto I4.0 e simulação, realizou-se a verificação do local de publicação de cada artigo. Na Figura 3 estão apresentados os 10 países referência no assunto, com maior índice de publicações.

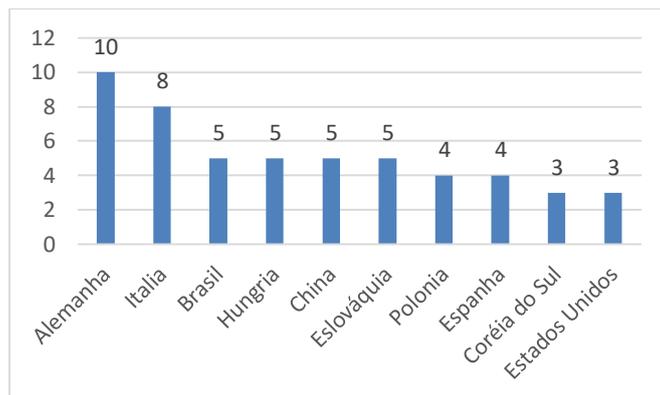


Figura 3 – Países de publicação dos artigos.

Cumprindo com o objetivo deste estudo, os artigos selecionados anteriormente obedeceram a seleção para apenas bibliografias voltadas aos assuntos pertinentes a área industrial, tecnologias de manufatura, engenharias ou similares. Assim, neste escopo pode-se ainda aprofundar a classificação de cada artigo com base nos subgrupos registrados no cadastro da base Web of Science. Verificando a classificação dos artigos sobre esta ótica, realizou-se a distribuição dos mesmos a fim de perceber quais as áreas de pesquisa mais se destacaram. (ver Figura 4).

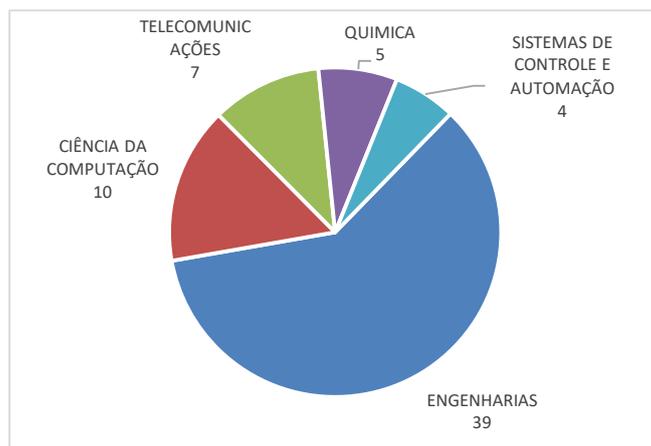


Figura 4 – Áreas de pesquisa dos artigos.

Análises de conteúdo também foi realizado, trazendo a este estudo significativo resultado e artifícios importantes para reflexão. Para esta etapa, o software VOSviewer foi utilizado pois de forma prática e eficaz, apresenta análise estatística de textos e permite visualização de mapas de rede.

Neste sentido, este estudo buscou verificar nos artigos selecionados qual as palavras chave mais utilizadas, verificando a aderência dos artigos ao tema. A representação em mapa pode também ser apreciada em função da correlação existente entre as palavras, onde as linhas de ligação entre as palavras estão com espessura dimensionadas conforme o aumento desta correlação. Pode-se verificar na Figura 5 que as palavras-chaves dos artigos objetos de estudo são fortemente ligadas ao tema I4.0 e simulação.

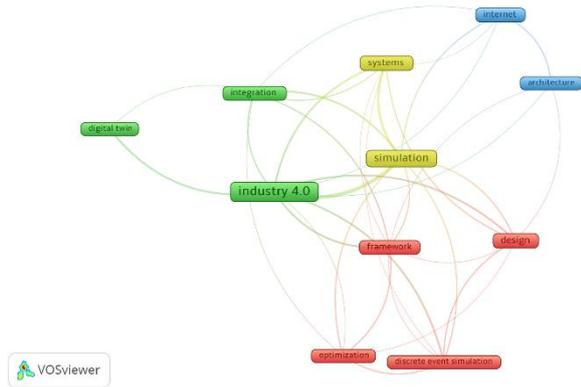


Figura 5 – Mapa das palavras chave.

Outra importante avaliação foi realizada no estudo dos textos resumos de cada artigo. Também apoiado pelo software VOSviewer, uma representação em mapa de ocorrências traz as principais palavras encontradas durante varredura dos resumos, onde 11 delas foram selecionadas e agrupadas. Isto deu-se através de método matemático por somatório de ocorrências de cada palavra. Pode-se claramente perceber que todas fazem parte do atual contexto da Indústria 4.0 e caracterizam o escopo da simulação como tecnologia habilitadora desta nova era. A Figura 6 apresenta os resultados desta avaliação das palavras contidas nos resumos dos artigos.

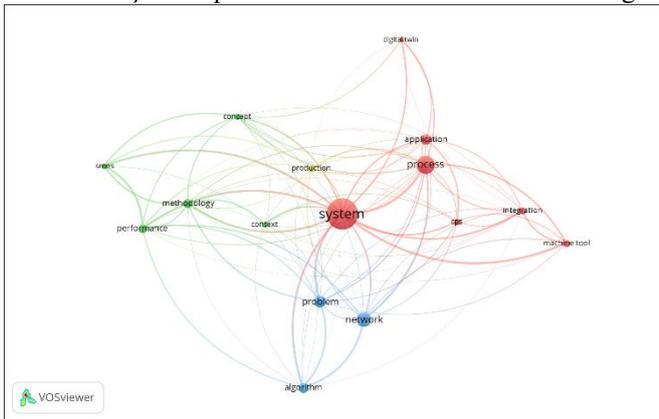


Figura 6 – Nuvem de palavras.

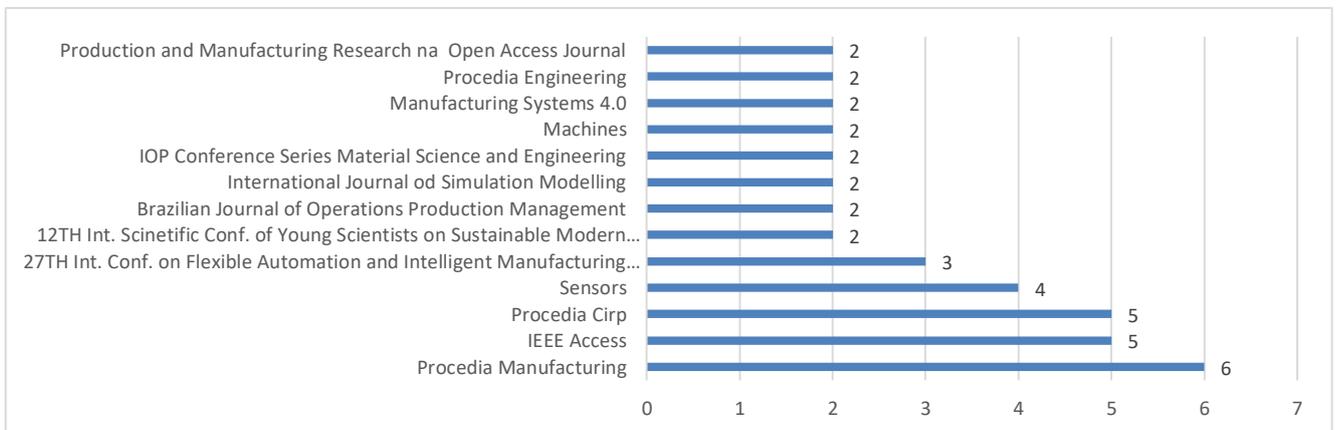


Figura 7 - Fontes de Publicações dos artigos

Em análise aos títulos das fontes de publicações, pode-se perceber que 13 delas representam cerca de 70% dos artigos. Com 6 registros, pouco mais de 10% do total, a PROCEDIA MANUFACTURING é a principal fonte de publicações na base de dados deste estudo. A Figura 7 apresenta as 13 principais fontes.

Avaliados os aspectos anteriores, buscou-se agora verificar individualmente em cada artigo como cada um deles contribuiu para o desenvolvimento tanto da I4.0 como da simulação. Assim, nova fase de seleção foi aplicada com a verificação da representatividade dos artigo no mundo acadêmico. Isto foi possível pelo uso da ferramenta do site da Web of Science que contabiliza o número de citações de cada uma das publicações, classificando os artigos em ordem crescente de quantidade de citações. Nesta etapa, foram selecionados 10 artigos entendendo ser uma amostragem adequada pois representam 77% do total de citações.

Foi realizada leitura integral de todos os 10 artigos selecionados e extraídas as informações relevantes para verificação do posicionamento do estudo, seus objetivos, resultados, dificuldades ou desafios futuros, representados na Tabela 2.

Em análise as informações levantadas sobre o objetivo de cada um destes artigos, pode-se perceber clara tendência dos autores em apresentar soluções para as demandas rotineiras das empresas em busca de melhorias de processos, inovações tecnológicas e otimização de suas operações. Esta jornada se demonstra a cada dia mais intensa e necessária. Fábricas inteligentes, modelos e sistemas de processo, robotização e inovação, todos estes temas estão presentes nos objetivos, reforçando a forte tendência indústria 4.0 e suas tecnologias habilitadoras.

Na avaliação realizada sobre os resultados dos estudos apresentados, verificou-se a importância e relevância tanto da simulação quanto da I4.0 no mundo corporativo. Com maiores ou menores impactos, sempre que houve uma aplicação de ferramenta tecnológica baseada na era da I4.0, importantes ganhos ao desempenho daquela tarefa, processo ou mesmo jornada de aprendizado, ganhos de performance foram alcançados.

Tabela 2 - Artigos mais citados e suas características:

Autor	Título	Citações	Objetivo	Oportunidades e desafios	Resultado
Uhlemann, T. H. -J.; Lehmann, C.; Steinhilper, R. (2017)	The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0	51	Propor diretrizes para implementação de sistemas ciber-físicos em empresas de pequeno e médio porte.	Melhoria da qualidade de dados.	Desenvolvimento de um sistema de produção virtual que gere dados seguindo o sistema de produção real com as duas tecnologias implementadas.
Turner, C. J.; Hutabarat, W.; Oyekan, J.; et.al. (2016)	Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends	30	Avaliar a combinação da realidade virtual e simulação de eventos discretos.	Padronização de informação e protocolos de comunicação	Interação em tempo real dos cenários projetados com os cenários reais, proporcionando tomadas de decisões mais rápidas e assertivas.
Zhang, H.; Liu, Q.; Chen, X.; et.al. (2017)	A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line	28	Criar modelo de Digital Twin para otimização de linha de produção de vidro oco personalizado.	Criação do Digital Twin frente as grandes variações e incorporar Big Data.	Velocidade nos ajustes de linha de produção, previsibilidade de entrega de pedidos e monitoramento da linha de montagem.
Liu, C.; Xu, X. (2017)	Cyber-Physical Machine Tool - the Era of Machine Tool 4.0	16	Propor novo modelo de máquinas ferramenta adequadas a I4.0	Gerar esforço coletivo na cadeia de máquinas-ferramenta em busca desta evolução.	Proposta de integração de tecnologias aplicadas nas máquinas tornando viável os conceitos de I4.0.
Bloechl, S. J.; Schneider, M. (2016)	Simulation Game for Intelligent Production Logistics - The PuLL (R) Learning Factory	11	Criar ambiente de aprendizado em logística de produção industrial.	Implementar ferramenta de feedback para melhoria contínua.	Absorção dos impactos da Indústria 4.0 em tecnologia, organização e processos na área de logística da produção industrial.
Rodic, B. (2017)	Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm	10	Apresentar novo paradigma da simulação na I4.0 baseado em Digital Twin e examinar aderência em estudo de casos reais.	Ampliar cooperação entre setores acadêmicos e empresariais.	Aceitação do novo modelo de paradigma de simulação tanto por grandes empresas como por pequenas e médias. Ferramentas flexíveis para cada situação.
Lee, H.G.; Huh, J.H. (2018)	A Cost-Effective Redundant Digital Excitation Control System and Test Bed Experiment for Safe Power Supply for Process Industry 4.0	8	Desenvolver sistema de monitoramento e controle automático de tensão, de baixo custo, em usina elétrica.	Escalabilidade de tecnologia de baixo custo.	Validação da eficácia do sistema de baixo custo através da simulação aplicada antes do uso efetivo, permitindo também que através de aplicativo Android constantes simulações conforme variações do sistema elétrico ocorram.
Neradilova, H.; Fedorko, G. (2017)	Simulation of the supply of workplaces by the AGV in the digital factory	6	Criar um modelo de simulação no processo de suprimento utilizando AGV.	Ampliação do modelo para demais áreas da logística.	Otimização da utilização do recurso AGV.
Caggiano, A.; Teti, R. (2018)	Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design	5	Propor metodologia de fábrica digital validado por simulação a fim de aprimorar célula robotizada de manufatura.	Minimizar as variações entre os modelos virtuais e os sistemas reais.	Ganhos significativos de produtividade nas células de trabalho com a aplicação da combinação de simulação 3D e simulação de eventos discretos, constituindo uma aplicação de modelo de fábrica digital.
Li, T. S.; Liu, C.Y.; Kuo, P.-H.; et.al. (2017)	A Three-Dimensional Adaptive PSO-Based Packing Algorithm for an IoT-Based Automated-Fulfillment Packaging System	5	Desenvolver sistema de empacotamento automatizado baseado em IoT para logística de vendas on-line.	Tempo de computação versus eficiência de resultado do empacotamento.	A simulação gerou otimização de volume versus tempo de processamento no empacotamento de volumes, garantindo um pacote seguro. Também gerou ganhos de desempenho na taxa de preenchimento do pacote.

Isto significa afirmar que as novas tecnologias da indústria moderna, como IoT, Digital Twin, Cloud Computation, simulação, entre outras, são fundamentais para a prosperidade e sobrevivência das organizações.

Para alcançar estas evoluções e garantir a subsistência, os investimentos em tecnologia devem ser cada vez mais abrangentes. Como se percebe na avaliação das oportunidades e desafios dos artigos selecionados, farão parte destes investimentos não somente os recursos financeiros, mas também quebra de paradigmas no sentido de cooperação entre academia e empresas, bem como a continuação dos estudos sobre os resultados obtidos, intensificando a melhoria contínua. Pode-se verificar que questões como novos modelos de máquinas, processo e produtos de baixo custo, aplicações em outras áreas de estudos fizeram parte dos desafios e oportunidades levantados.

### Conclusões

Este trabalho buscou mapear e apresentar os principais caminhos tomados pelas publicações científicas, bem como entender de que forma se relacionam, em que áreas de pesquisa estão inseridas, quais autores são mais influentes, entre outras características.

Como pode-se notar nos resultados apresentados, a Alemanha não somente introduziu o termo desta nova revolução industrial mas também está na vanguarda no que diz respeito a estudos e produção científica no tema. Contudo, avaliando os resultados do mapeamento geográfico, pode verificar que há ampla disseminação tanto da I4.0 quanto da simulação por todo o mundo.

Também foi destacado neste estudo quais as áreas de pesquisa dentro das ciências exatas que mais trabalham com esta temática, tendo como predominância os estudos voltados para engenharia e manufatura. Este comportamento também é representado quando avaliados as fontes de publicação dos artigos selecionados, sendo a “PROCEDIA MANUFACTURING” a mais representativa com 6 registros.

Outra importante visão apresentada neste estudo foi demonstrada na avaliação dos textos e representada graficamente em mapa das palavras mais utilizadas. Foi identificada a palavra sistema como a mais presente nos conteúdos selecionados, demonstrando como diversos temas da indústria 4.0 e da simulação são construídos como partes de um todo. Pode-se aqui simbolizar a palavra sistema como uma engrenagem central entre diversos outros componentes que constroem o tema.

Este trabalho buscou apresentar uma análise exploratória dos 10 principais artigos de sua seleção, demonstrando qual a linha de pesquisa de maior relevância e também as tendências de benefícios gerados. Verificou-se uma forte aplicação da simulação para fins de validação e processos e testagem de hipóteses em dinâmicas de otimização.

Este estudo possibilita visualizar, de forma prática e simples alguns possíveis caminhos para busca exploratória do uso da simulação computacional aplicada quando utilizada na Indústria 4.0. Proporcionando visualização de tendências de qual país, autor, área de pesquisa ou até mesmo palavras mais utilizadas e as mais atuais publicações de pesquisa estão apresentando. Como sugestão de trabalhos futuros, entende-se interessante mapear a evolução do tema quanto a tipos de

tecnologias específicas de simulação como softwares e hardwares, possibilitando entender quais ferramentas de simulação farão parte da quarta revolução industrial. Outra pesquisa bastante relevante seria investigar os investimentos aplicados, avaliando diversas instituições, organizações públicas e privadas, mapeando a aplicação de recursos financeiros para uso da simulação e I4.0.

### V. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kahndakar Ahmed; Jan O. Blech; Mark A. Gregory et al.; “Software Defined Networks in Industrial Automation”, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 7, n. 3, 2018.
- [2] Vitor Alcácer, Virgílio Cruz-Machado, “Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 22, Issue 3, Pages 899-919, 2019.
- [3] Pablo J. Alhama Blanco; Fares J. Abu-Dakka; Mohamed Abderrahim; “Practical Use of Robot Manipulators as Intelligent Manufacturing Systems”, *Sensors*, vol. 18, n. 9, 2018.
- [4] Luis Osmar Alpala; Maria del Mar Eva Alemany; Diego Hernán Peluffo-Ordoñez et al.; “Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an “industry 4.0” context”, *Dyna*, 85, n. 207, p. 243-252, 2018.
- [5] Stefan J. Bloechl; Mathias Michalicki; Markus Schneider; “Simulation Game for Lean Leadership - Shopfloor Management combined with Accounting for Lean”, In: *METTERNICH, J. e GLASS, R. (Ed.). 7th Conference on Learning Factories*, v. 9, p. 97-105, 2017. (PROCEDIA MANUFACTURING).
- [6] Stefan J. Bloechl; Markus Schneider; “Simulation Game for Intelligent Production Logistics - The PuLL (R) Learning Factory”, In: *MARTINSEN, K. (Ed.). 6th Cirp Conference on Learning Factories*, 2016. vol. 54, p. 130-135. (PROCEDIA CIRP).
- [7] Juan José-Bullon Perez; Angelica Gonzales Arrieta; Ascension Hernandez Encinas et al.; “Manufacturing processes in the textile industry. Expert Systems for fabrics production”, *Adcaij-Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, vol. 6, n. 4, p. 15-23, 2017.
- [8] Alessandra Caggiano; Roberto Teti; “Digital factory technologies for robotic automation and enhanced manufacturing cell design”, *Cogent Engineering*, vol. 5, n. 1, 2018.
- [9] Fiorella Caputo et al., “Workplace design ergonomic validation based on multiple human factors assessment methods and simulation”. *Production and Manufacturing Research-an Open Access Journal*, vol. 7, n. 1, p. 195-222, 2019.
- [10] Carmen L. Constantinescu; Emmanuel Francalanza; Davide Matarazzo; “Towards knowledge capturing and innovative human-system interface in an open-source factory modelling and simulation environment”, In: *TETI, R. (Ed.). 9th Cirp Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - Cirp Icme '14*, vol. 33, p. 23-28, 2015. (PROCEDIA CIRP).
- [12] Patrick Dallasega; Rafael A. Rojas; Erwin Rauch et al.; “Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning”, In: *PELLICCIARI, M. e PERUZZINI, M. (Ed.). 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Faim 2017*, v. 11, p. 846-853, 2017. (PROCEDIA MANUFACTURING).
- [13] Andrea De Giorgio; Mario Romero; Mauro Onori et al.; “Human-machine collaboration in virtual reality for adaptive production

- engineering". In: PELLICCIARI, M. e PERUZZINI, M. (Ed.). *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Faim2017*, v. 11, p. 1279-1287, 2017. (PROCEDIA MANUFACTURING).
- [14] Rainer Drath, Alexander Horch, "Industrie 4.0: Hit or Hype?", *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 8(2), pp. 56-58, 2014.
- [15] Radoslaw Dukalski; Argun Cencen; Doris Aschenbrenner et al.; "Portable rapid visual workflow simulation tool for human robot coproduction". In: PELLICCIARI, M. e PERUZZINI, M. (Ed.). *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Faim2017*, vol. 11, p. 185-197, 2017. (PROCEDIA MANUFACTURING).
- [16] Gustavo Rodrigues Fraga; Tulio Almeida Peixoto; João José de Assis Rangel; "Simulation Optimization in Dosing Process Control System in Real Time in a Free and Open-Source Software", *Pesquisa Operacional*, vol. 38, n. 2, p. 273-289, 2018.
- [17] Yaping Fu; Mengchu Zhou; Xiwang Guo et al., "Artificial-Molecule-Based Chemical Reaction Optimization for Flow shop Scheduling Problem With Deteriorating and Learning Effects", *Ieee Access*, vol. 7, p. 53429-53440, 2019.
- [18] Radovan Furmann; Beata Furmannova; Dorota Wiecek; "Interactive design of reconfigurable logistics systems", In: BUJNAK, J. e GUAGLIANO, M. (Ed.). *12th International Scientific Conference of Young Scientists on Sustainable, Modern and Safe Transport*, vol. 192, p. 207-212, 2017.
- [19] Quezia Manuela Gonçalves Laurindo; Tulio Almeida Peixoto; João José de Assis Rangel; "Communication mechanism of the discrete event simulation and the mechanical project softwares for manufacturing systems", *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 6, n. 1, p. 70-80, 2019.
- [20] Lixiong Gong; Bingqian Zou; Zhiqun Kan; "Modeling and Optimization for Automobile Mixed Assembly Line in Industry 4.0", *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 2019, Article ID 3105267, 10 pages, 2019.
- [21] Mario Hermann; Tobias Pentek; Boris Otto; "Design principles for industry 4.0 scenarios", *Working Paper, Tech. Univ. Dortmund, Dortmund, Germany*, Feb. 2015.
- [22] Liam Y. Hsieh; Edward Huang; Chun-Hung Chen; "Equipment Utilization Enhancement in Photolithography Area Through a Dynamic System Control Using Multi-Fidelity Simulation Optimization With Big Data Technique". *Ieee Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 30, n. 2, p. 166-175, 2017.
- [23] Jan Jatzkowski; Peer Adelt; Achim Rettberg; "Hierarchical Scheduling for Plug-and-Produce", In: TRACHTLER, A.; DENKENA, B., et al (Ed.). *3rd International Conference on System-Integrated Intelligence: New Challenges for Product and Production Engineering*, vol. 26, p. 227-234, 2016. (PROCEDIA Technology).
- [24] Botond Kadar; Peter Egri; Gianfranco Pedone et al.; "Smart, simulation-based resource sharing in federated production networks", *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 67, n. 1, p. 503-506, 2018.
- [25] Damian Krenczyk; Wojciech M. Kempa; Krumm Kalinowski et al.; "Integration of manufacturing operations management tools and discrete event simulation", In: OANTA, E.; NAITO, M., et al (Ed.). *Modtech International Conference - Modern Technologies in Industrial Engineering Vi*, vol. 400, 2018. (IOP Conference Series-Materials Science and Engineering).
- [26] Kaustav Kundu; Matteo Rossini; Alberto Portioli-Staudacher; "Analysing the impact of uncertainty reduction on WLC methods in MTO flow shops", *Production and Manufacturing Research-an Open Access Journal*, vol. 6, n. 1, p. 328-344, 2018.
- [27] Heiner Lasi et al., "Industry 4.0," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, n. 4, pp. 239-242, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [28] Hoon-Gi Lee; Jun-Ho Huh; "A Cost-Effective Redundant Digital Excitation Control System and Test Bed Experiment for Safe Power Supply for Process Industry 4.0", *Processes*, vol. 6, n. 7, 2018.
- [29] Matheus E. Leusin; Enzo M. Frazzon; Mauricio Uriona Maldonado et al.; "Solving the Job-Shop Scheduling Problem in the Industry 4.0 Era", *Technologies*, vol. 6, n. 4, 2018.
- [30] Tzue-Hseng S. Li; Chih-Yin Liu; Ping-Huan Kuo et al.; "A Three-Dimensional Adaptive PSO-Based Packing Algorithm for an IoT-Based Automated-Fulfillment Packaging System", *Ieee Access*, vol. 5, p. 9188-9205, 2017.
- [31] Fabio Lima; Caroline N. de Carvalho; Mayara B.S. Acardi; et al., "DIGITAL MANUFACTURING TOOLS IN THE SIMULATION OF COLLABORATIVE ROBOTS: TOWARDS INDUSTRY 4.0", *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, n. 2, p. 261-280, 2019.
- [32] Chao Liu; Xun Xu; "Cyber-Physical Machine Tool - the Era of Machine Tool 4.0", In: TSENG, M. M.; TSAI, H. Y., et al (Ed.). *Manufacturing Systems 4.0*, v. 63, p. 70-75, 2017. (PROCEDIA CIRP).
- [33] Ping Liu; Qiang Zhang; Juergen Pannek; "Development of Operator Theory in the Capacity Adjustment of Job Shop Manufacturing Systems". *Applied Sciences-Basel*, vol. 9, n. 11, 2019.
- [34] Yejun Liu; Yahe Yang; Pengchao Han et al., "Virtual Network Embedding in Fiber-Wireless Access Networks for Resource-Efficient IoT Service Provisioning", *Ieee Access*, vol. 7, p. 65506-65517, 2019.
- [35] Rafaela H. C. Machado; André Luis Helleno; Alexandre T. Simon; "Estudo bibliométrico da produção científica internacional sobre a DES aplicado a logística" *Revista de Ciência & Tecnologia*, vol. 19, Ed. 38, Pag. 17-31, 2016.
- [36] Vidosav Majstorovic; Slavenko Stojadinovic; Srdjan Zivkovic et al.; "Cyber-Physical Manufacturing Metrology Model (CPM3) for Sculptured Surfaces - Turbine Blade Application", In: TSENG, M. M.; TSAI, H. Y., et al (Ed.). *Manufacturing Systems 4.0*, vol. 63, p. 658-663, 2017. (PROCEDIA CIRP).
- [37] Sergio Martiradonna; Giuseppe Piro; Gennaro Boggia; "On the Evaluation of the NB-IoT Random Access Procedure in Monitoring Infrastructures", *Sensors*, vol. 19, n. 14, 2019.
- [38] David Moher et al., The PRISMA Group (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6(7): e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- [39] Dimitris Mourtzis, Anastasios Vasilakopoulos, Evagoras Zervas, Nikoletta Boli, "Manufacturing System Design using Simulation in Metal Industry Towards Education 4.0", *PROCEDIA MANUFACTURING*, Vol. 31, pag. 155-161, 2019.
- [40] Ulf Mueller; Peter Gust; Nico Feller et al.; "WorkDesigner: Consulting application software for the strain-based staffing and design of work processes", In: AHAM, T.; KARWOWSKI, W., et al (Ed.). *6th International*

- Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, v. 3, p. 379-386, 2015. (PROCEDIA MANUFACTURING).
- [41] Hana Neradilova; Gabriel Fedorko; "Simulation of the supply of workplaces by the AGV in the digital factory", In: *BUJNAK, J. e GUAGLIANO, M. (Ed.). 12th International Scientific Conference of Young Scientists on Sustainable, Modern and Safe Transport*, vol. 192, p. 638-643, 2017. (PROCEDIA Engineering).
- [42] Jae-Han Park; Tae-Woong Yoonç; "Maximizing the Coverage of Roadmap Graph for Optimal Motion Planning", *Complexity*, vol. 2018 Article ID 9104720, 23 pags, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9104720>.
- [43] Adriano Pereira; Eugenio de Oliveira Simonetto; Goran Putnik et al.; "How Connectivity and Search for Producers Impact Production in Industry 4.0 Networks", *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 15, n. 4, p. 528-534, 2018.
- [44] Ricardo Pimentel et al., "Review of simulation-based Optimization Approaches for the Adaptive Scheduling and Control os Dynamics Production Systems," *24th International Conference on Production Research*, p. 657-662, 2017.
- [45] Andras Poppe et al., "Multi-Domain Modelling of LEDs for Supporting Virtual Prototyping of Luminaires". *Energies*, vol. 12, n. 10, 2019.
- [46] Theofanis P. Raptis; Andrea Passarella; Marco Conti; "Performance Analysis of Latency-Aware Data Management in Industrial IoT Networks", *Sensors*, vol. 18, n. 8, 2018.
- [47] Carl Roberts, "A Conceptual Framework for Quantitative Text Analysis", *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, vol. 34, issue 3, p. 259-274, 2000.
- [48] Blaz Rodic, "Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm", *Organizacija*, vol. 50, n. 3, p. 193-207, Aug 2017.
- [49] Maria Rosienkiewicz; Arkadiusz Kowalski; Joanna Helman et al.; "Development of Lean Hybrid Furniture Production Control System based on Glenday Sieve, Artificial Neural Networks and Simulation Modeling", *Drvna Industrija*, vol. 69, n. 2, p. 163-173, 2018.
- [50] Tamas Ruppert; Janos Abonyi; "Software Sensor for Activity-Time Monitoring and Fault Detection in Production Lines", *Sensors*, vol. 18, n. 7, 2018.
- [51] Tamas Ruppert; Janos Abonyi; "Worker Movement Diagram Based Stochastic Model of Open Paced Conveyors", *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, vol. 46, n. 2, p. 55-62, 2018.
- [52] Roman Ruzarovsky; Radovan Holubek; Daynier Rolando Delgado Sobrino; "The Simulation of Conveyor Control System Using the Virtual Commissioning and Virtual Reality", *Advances in Science and Technology-Research Journal*, vol. 12, n. 4, p. 164-171, 2018.
- [53] Hyun-Jun Shin; Kyoung-Woo Cho; Chang-Heon Oh; "SVM-Based Dynamic Reconfiguration CPS for Manufacturing System in Industry 4.0", *Wireless Communications & Mobile Computing*, vol. 2018, article ID 5795037, 13 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5795037>
- [54] Erika Sujova; Helena Cierna; Iwona Zabinska; "Application of Digitalization Procedures of Production in Practice", *Management Systems in Production Engineering*, vol. 27, n. 1, p. 23-28, 2019.
- [55] Gian Antonio Susto; Marco Maggipinto; Frederico Zocco et al.; "A Dynamic Sampling Approach for Cost Reduction in Semiconductor Manufacturing", *28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, vol. 17, p. 1031-1038, 2018.
- [56] Michael Teucke; Eike Broda; Axel Boerold et al.; "Using Sensor-Based Quality Data in Automotive Supply Chains", *Machines*, vol. 6, n. 4, 2018.
- [57] Angella Thomas; David A. Guerra-Zubiaga; John Cohran, "Digital Factory – Simulation Enhancing Production and Engineering Process", *Proceedings of the ASME 2018; Volume 2: Advanced Manufacturing*, V002T02A077. 2018.
- [58] Nikolett Toth et al.; "Elaborating Industry 4.0 compatible DSS for enhancing production system effectiveness" In: *Xxiii International Conference on Manufacturing*, vol. 448, 2018.
- [58] Peter Trebuna; Miriam Pekarcikova; Milan Edl; "Digital Value Stream Mapping Using the Tecnomatix Plant Simulation Software". *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 18, n. 1, p. 19-32, 2019.
- [60] Christopher J. Turner; Windo Hutabarat; John Oyekan et al.; "Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends", *Ieee Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 46, n. 6, p. 882-894, 2016.
- [61] Thomas H.-J. Uhlemann; Christian Lehmann; Rolf Steinhilper; "The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0", In: *TAKATA, S.; UMEDA, Y., et al (Ed.). 24th Cirp Conference on Life Cycle Engineering*, vol. 61, p. 335-340, 2017. (PROCEDIA CIRP).
- [62] Gorka Urbikain; Alvaro Alvarez; Luis Norberto Lopez de Lacalle et al.; "A Reliable Turning Process by the Early Use of a Deep Simulation Model at Several Manufacturing Stages", *Machines*, vol. 5, n. 2, 2017.
- [63] Ainhoa Goienetxea Uriarte; Amos H.C. Ng; Matias Urenda Moris; "Bringing together Lean and simulation: a comprehensive review", *International Journal of Production Research*, vol. 17, n. 3, p. 377-390, 2019.
- [64] Antonio Vieira et al., "Setting an Industry 4.0 Research and Development Agenda for Simulation – A Literature Review", *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 17, n. 3, p. 377-390, 2018.
- [65] Wei Wang; Lei Fran; Pu Huang; "A New Data Processing Architecture for Multi-Scenario Applications in Aviation Manufacturing", *Ieee Access*, vol. 7, p. 83637-83650, 2019.
- [66] Jie Xu et al., "Simulation optimization in the era of Industrial 4.0 and the Industrial Internet", *Journal of Simulation*, vol. 10, n. 4, p. 310-320, 2016.
- [67] Poorya Ghafoorpoor Yazdi; Aydin Azizi; Majid Hashmemipour; "A Hybrid Methodology for Validation of Optimization Solutions Effects on Manufacturing Sustainability with Time Study and Simulation Approach for SMEs", *Sustainability*, vol. 11, n. 5, 2019.
- [68] Hao Zhang; Qiang Liu; Xin Chen et al.; "A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line", *Ieee Access*, vol. 5, p. 26901-26911, 2017.