

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIEL GOMES VICENTE

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA ENGENHARIA QUÍMICA: EXPLORANDO OS
AVANÇOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0**

Uberlândia

2024

GABRIEL GOMES VICENTE

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA ENGENHARIA QUÍMICA: EXPLORANDO OS
AVANÇOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como parte
dos requisitos necessários para aprovação na
disciplina de trabalho de Conclusão de Curso
do curso de Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sarah Arvelos Altino

Uberlândia

2024

Gabriel Gomes Vicente

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA ENGENHARIA QUÍMICA: EXPLORANDO OS
AVANÇOS E DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como parte
dos requisitos necessários para aprovação na
disciplina de trabalho de Conclusão de Curso
do curso de Engenharia Química.

Uberlândia, 22 de novembro de 2024.

Banca Examinadora:

Profª. Dr. Sarah Arvelos – Orientadora – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Rubens Gedraite – FEQUI/UFU

Thaylane da Rocha Bezerra – FEQUI/UFU

Dedico este trabalho à minha família, pelo
apoio, carinho e motivação.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos a meus pais, Valdelúcia e José, pelo apoio e pela confiança depositada em mim ao longo dessa caminhada. Todas as palavras de incentivo e carinho foram essenciais para as minhas conquistas. Vocês acreditaram em mim, mesmo nos momentos em que duvidei de mim mesmo.

Agradeço ao meu irmão Felipe, que esteve sempre ao meu lado e me proporcionou leveza e alegria durante esta trajetória. Seu exemplo de determinação me inspira a persistir nos meus sonhos.

Também agradeço aos meus amigos, que em todos os momentos tiveram ao meu lado, oferecendo suporte e ânimo.

Minha gratidão se estende aos professores, em especial a minha orientadora Sarah. Vocês me guiaram e inspiraram ao longo dessa jornada de estudo em Engenharia Química.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado durante este percurso, compartilhando momentos de dificuldade e celebração.

RESUMO

Atualmente, estamos na quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0, marcada pela integração dos avanços em comunicação e tecnologia da informação, com o propósito de intensificar a automação e digitalização nas operações industriais. Este trabalho visou realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais aspectos e tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), Cibersegurança, Realidade Aumentada, Manufatura Aditiva, Big Data, Robôs Autônomos, Simulação, Computação em Nuvem e Integração Horizontal e Vertical. Essas tecnologias visam não apenas aprimorar a eficiência, mas também permitir a personalização em massa, a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real e a tomada de decisões mais ágeis e embasadas. A digitalização impacta diretamente a sustentabilidade dos processos industriais, reduzindo desperdícios e otimizando o uso de recursos. Este estudo também buscou destacar os impactos da digitalização na Indústria Química, assim como na formação e prática profissional do engenheiro químico, que precisa cada vez mais dominar ferramentas digitais e entender sua aplicação em ambientes complexos. Para exemplificar a aplicação da Indústria 4.0, são apresentados exemplos de empresas como Basf, Henkel e DuPont, que já utilizam a digitalização industrial para promover melhorias significativas em seus processos. Esses exemplos ajudam a demonstrar os ganhos e benefícios operacionais decorrentes da adoção do modelo 4.0, tais como aumento de produtividade, segurança e competitividade no mercado.

Palavras-chave: Indústria 4.0 Digitalização Industrial. Transformação digital. Indústria Química. Engenharia Química

ABSTRACT

We are currently experiencing the fourth industrial revolution, known as Industry 4.0, characterized by the integration of advancements in communication and information technology, aiming to intensify automation and digitalization in industrial operations. This paper presented a bibliographic review of the main aspects and technologies of Industry 4.0, including the Internet of Things (IoT), Cybersecurity, Augmented Reality, Additive Manufacturing, Big Data, Autonomous Robots, Simulation, Cloud Computing, and Horizontal and Vertical integration. These technologies aim not only to enhance efficiency but also to enable mass customization, real-time data collection and analysis, and more agile and informed decision-making. Digitalization directly impacts the sustainability of industrial processes by reducing waste and optimizing resource usage. This study also aimed to highlight the impacts of digitalization on the Chemical Industry, as well as on the education and professional practice of chemical engineers, who increasingly need to master digital tools and understand their application in complex environments. To illustrate the application of Industry 4.0, examples of companies like BASF, Henkel, and DuPont are presented, which have already adopted industrial digitalization to achieve significant improvements in their processes. These examples help demonstrate the operational gains and benefits arising from the adoption of the 4.0 model, such as increased productivity, safety, and competitiveness in the market.

Keywords: Industry 4.0. Industrial digitalization. Digital transformation. Chemical Industry. Chemical Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do faturamento líquido de 1995 a 2022.....	18
Figura 2 – Pilares da indústria 4.0.....	19
Figura 3 – Integração vertical através de níveis hierárquicos.....	28
Figura 4 – Cadeia de integração horizontal.....	29
Figura 5 – Modelo de site produzido através do software CADWorx.....	30
Figura 6 – Modelo de layout de planta produzido no software CADWorx.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivos gerais.....	14
2.1 Objetivos específicos	14
3 METODOLOGIA.....	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 – Indústria Química	16
4.2 – Indústria 4.0	18
4.3 – Big Data	20
4.4 – Manufatura aditiva	22
4.5 – Computação em nuvem.....	22
4.6 – IOT	24
4.7 – Integração horizontal e vertical.....	26
4.8 – Simulação.....	29
4.9 – Robôs Autônomos.....	31
4.10 – Realidade aumentada	32
4.11 – Cibersegurança	32
5.0 APLICAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS DIFICULDADES	33
5.1 Siemens e BASF	33
5.2 Sensores inteligentes	33
5.3 Henkel investe em Machine learning	34
5.4 DuPont e a inovação em inteligência artificial.....	35
5.5 Desafios de implementação	36
6 CONCLUSÃO.....	37
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a compreensão da humanidade sobre seus processos de produção e consumo passaram por profundas transformações, atribuídas às chamadas revoluções industriais. A Primeira Revolução Industrial, que surge no mundo no final do século XVIII, fundamentou-se na implementação de máquinas a vapor e no uso do carvão, dando início a produção mecânica. Tal transformação provocou revolução em diversos setores, como o têxtil e metalúrgico (SCHWAB, 2016).

Durante a transição do século XIX para o XX, marcou o início da Segunda Revolução Industrial, caracterizada pela adoção da energia elétrica e da linha de montagem, resultando na possibilidade de produção em massa (SCHWAB, 2016). Esse período pavimentou o caminho para uma maior eficiência produtiva e o surgimento de novas indústrias, como a automobilística.

Com o passar de algumas décadas, por volta de 1960, o mundo presenciou a Terceira Revolução Industrial, denominada também de revolução digital ou do computador (SCHWAB, 2016). Essa era foi marcada pela ascensão da eletrônica, com o desenvolvimento dos condutores, da computação (*mainframe* e pessoal) e desenvolvimento da internet. Esse período trouxe consigo mudanças nos sistemas políticos e econômicos.

Batizada de indústria 4.0 em 2011 na feira industrial de Hannover na Alemanha, hoje se vive a quarta revolução industrial caracterizada pela junção dos mundos físicos e virtuais, trabalhando em escala global e de forma flexível, permitindo a existência das chamadas “fábricas inteligentes” (SCHWAB, 2016). Uma fábrica inteligente integra pessoas, máquinas e dados de forma digital. Essas fábricas não só analisam dados, mas também aprende com a experiência, prevendo tendências e eventos. Sendo capaz assim de atingir um alto grau de produtividade, resiliência e segurança. (SAP, s.d)

A indústria 4.0 é associada a nove tecnologias, sendo elas: *Big Data*, manufatura aditiva, computação em nuvem, Internet das coisas, integração de sistemas, simulação, robôs autônomos, realidade aumentada e cibersegurança (RÜBMANN, 2015). A implementação e o uso dessas tecnologias trazem mudanças marcantes na indústria. Tais mudanças possibilitam que sensores, máquinas, componentes e sistemas de tecnologia da informação (TI) interajam entre si, através da internet, para que consigam analisar dados tendo como objetivo prevenção de falhas, configuração e adaptação automática frente às mudanças (RÜBMANN, 2015). Visto que, hoje, para uma indústria ser intitulada inteligente não basta somente possuir um alto nível

de automação no seu processo, mas sim equipamentos, produtos e sistemas comunicando entre si e, de forma autônoma, tomando decisões sem intervenção de operadores.

Para obter de fato uma I4.0 é necessário transformar processos manuais em processos mais evoluídos tecnologicamente. Logo, é de extrema importância o trabalho do engenheiro, em especial, o do engenheiro químico devido à sua formação sistêmica (CREMASCO, 2015). A junção de habilidades científicas, técnicas, humanas e sociais permitem ao engenheiro buscar soluções inovadoras, propostas computacionais, softwares, entre outras ferramentas de interesse da indústria química de grande complexidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O trabalho objetivou realizar uma revisão de literatura, propondo-se a definição e compreensão, de aspectos da digitalização industrial que fazem parte da indústria 4.0.

2.1 Objetivos específicos

- Definir conceitos da digitalização industrial, que são pilares da indústria 4.0;
- Apresentar exemplos de implementação;
- Discutir a contribuição e os desafios para o engenheiro químico, frente à essas mudanças.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar e consolidar os principais aspectos relacionados à Indústria 4.0 e sua aplicação na engenharia química. Foram selecionadas fontes confiáveis, incluindo artigos científicos, livros, relatórios técnicos e materiais disponibilizados por organizações relevantes no setor industrial.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida utilizando bases de dados acadêmicas, como ScienceDirect, Google Acadêmico e a biblioteca virtual da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). As palavras-chave empregadas incluíram: "Indústria 4.0", "Digitalização industrial", "Transformação digital" e "Engenharia Química". Os critérios de seleção envolveram a análise da relevância do título, resumo e data de publicação, priorizando materiais publicados nos últimos dez anos para garantir atualidade e alinhamento com as tendências tecnológicas mais recentes.

Além disso, foram consultados estudos de caso de empresas líderes no setor químico, como BASF, Henkel e DuPont, para ilustrar as aplicações práticas e os benefícios obtidos com a implementação da Indústria 4.0. Esses exemplos foram extraídos de publicações acadêmicas e relatórios corporativos disponíveis em fontes oficiais e revisadas.

A análise dos dados foi estruturada com base nos pilares da Indústria 4.0, destacando tecnologias-chave como Big Data, Internet das Coisas (IoT), Realidade Aumentada e Manufatura Aditiva. Cada pilar foi avaliado quanto à sua aplicabilidade na indústria química, com foco nos desafios e oportunidades que eles apresentam para o engenheiro químico.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 – Indústria Química

A indústria pode ser entendida como um conjunto de atividades econômicas, visando à manipulação e a exploração de matérias-primas e fontes energéticas, bem como a transformação de produtos semiacabados em bens de produção ou de consumo. A Indústria Química é um tipo de indústria de transformação, porém enfrenta um grande problema no que diz respeito ao pertencimento do produto na categoria “química”, devido ao fato de nem sempre conter uma reação química na etapa produtiva. Por exemplo o processo de refino de petróleo que por um tempo não foi considerado uma área da indústria química, devido à falta de reações em seu processo (CREMASCO, 2010).

No Brasil existem duas definições para produtos químicos. A primeira foi estabelecida pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com o apoio da Abiquim (Associação Brasileira da Indústria Química), e a segunda foi elaborada pelo MERCOSUL. A definição da Abiquim divide os produtos químicos em nove categorias, baseando-se nos critérios aprovados pela Organização das Nações Unidas (ONU). Já a definição do MERCOSUL, acordada entre os países membros, é válida em todos os países que integram o bloco. Ambas as definições são equivalentes, diferindo apenas nas subdivisões ou em algumas especificações técnicas. Os Quadros 1 e 2 mostram, respectivamente, a definição do IBGE/ABIQUIM e do Mercosul.

No ano de 2022 a indústria química brasileira faturou US\$ 187 bilhões (ABIQUIM, 2023). Ao analisar a evolução de 1995 a 2022, Figura 1, é possível notar o crescimento que esse setor tem ano após ano e a importância de se estudar formas de contribuir para o crescimento do ramo e seguir impactando na economia e na qualidade de vida das pessoas.

Quadro 1 – Classificação de Seguintos da indústria Química brasileira pelo IBGE

Produtos	Indústria Químicas
Fabricação de produtos inorgânicos	Cloro e álcalis, intermediários para fertilizantes, adubos e fertilizantes, gases industriais e outros produtos químicos inorgânicos
Fabricação de produtos químicos orgânicos	Produtos petroquímicos básicos, intermediários para plastificantes, resinas e fibras
Fabricação de resinas e elastômeros	Resinas termoplásticas, resinas termofixas e elastômeros
Fabricação de fibras artificiais e sintéticas	Fibras artificiais e sintéticas
Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários
Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal	Sabões, detergentes sintéticos, produtos de limpeza e polimento, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal
Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins	Tintas, vernizes, esmaltes, lacas, tintas de impressão, impermeabilizantes, solventes e produtos afins
Fabricação de produtos e preparados químicos diversos	adesivos e selantes, aditivos de uso industrial, catalisadores, produtos químicos não especificados anteriormente
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	Produtos farmoquímicos, medicamentos para uso humano, medicamentos para uso veterinário e preparações farmacêuticas

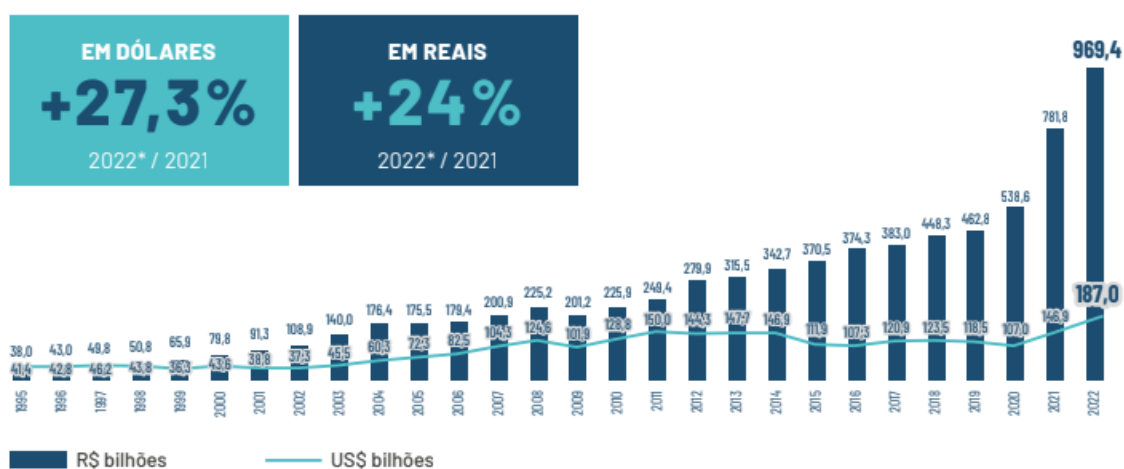
Fonte: ABIQUIM (s.d.).

Quadro 2 – Classificação MERCOSUL da indústria Química no Brasil

Adubos e fertilizantes	Produtos químicos inorgânicos
Extratos tanantes e tintoriais	Produtos químicos orgânicos
Materiais albuminoides e colas	Produtos de perfumaria e preparações cosméticas
Pólvoras e explosivos	Sabões e agentes orgânicos de superfície e produtos de limpeza
Produtos farmacêuticos	Produtos diversos como: grafite, carvão ativado, colofônias, inseticidas, fungicidas, herbicidas, desinfetantes, ácidos graxos e outros

Fonte: CREMASCO (2010).

Figura 1 – Evolução do faturamento líquido de 1995 a 2022.



Fonte: ABIQUIM (2022).

4.2 – Indústria 4.0

Conforme citado, o termo Indústria 4.0 teve sua origem na Alemanha e logo foi adotado pelo governo alemão para nomear a estratégia de longo prazo incluída no *High-Tech Strategy Action Plan 2020*, em 2011 (KAGERMANN, WAHLSTER, & HELD, 2013). O objetivo era garantir a competitividade da indústria alemã e posicioná-la como líder em inovação

tecnológica. Essa estratégia pretendia tornar os sistemas de produção mais versáteis e flexíveis. Além disso, nesse plano, as máquinas utilizam autoconfiguração e, em alguns casos, inteligência artificial para realizar tarefas complexas, com o intuito de reduzir custos e melhorar a qualidade de bens e serviços.

Atualmente, o termo Indústria 4.0 está no centro das atenções de diversas empresas, centros de pesquisa e instituições acadêmicas, gerando publicações, artigos e eventos sobre o tema.

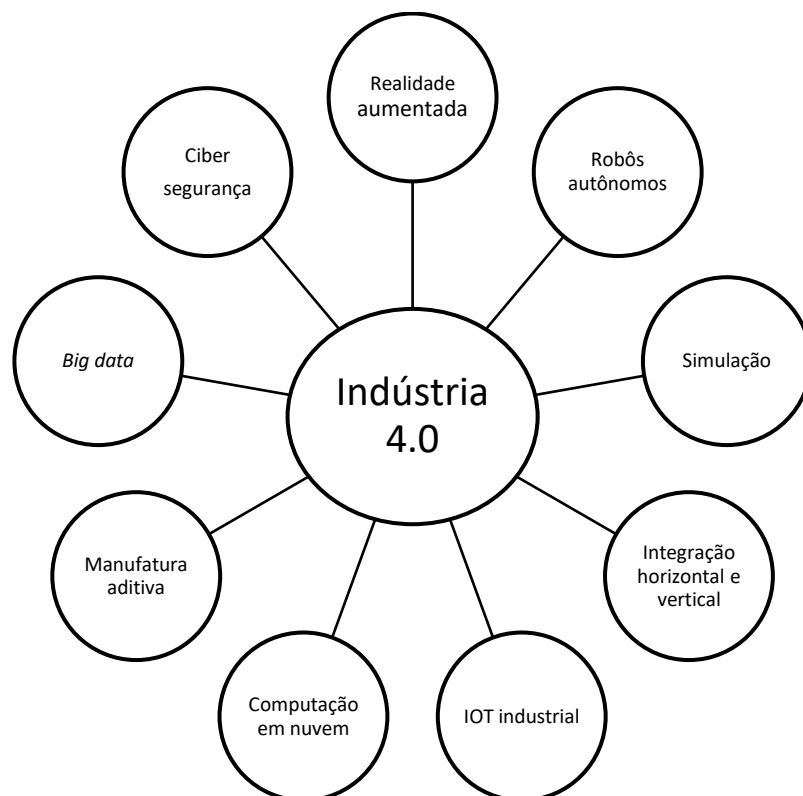
Um dos principais objetivos dessa nova era industrial é a melhoria contínua em termos de eficiência, segurança e produtividade das operações, resultando em um maior retorno sobre o investimento.

O conceito de Indústria 4.0 se baseia nos princípios de:

- Digitalização e automação dos processos;
- Processamento de dados em tempo real;
- Monitoramento e rastreabilidade de todos os produtos e processos.

A indústria 4.0 é sustentada por nove pilares tecnológicos (RÜBMANN, 2015) que são mostrados na figura 2 e serão detalhados nos próximos tópicos.

Figura 2 – Pilares da indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Rübmnn (2015).

4.3 – Big Data

Big Data é apontado como um termo que se refere a um grande volume de dados que é utilizado com a finalidade de gerenciar a criação de gatilhos e basear ações estratégicas na melhoria da tomada de decisão de um negócio. Começando nos primeiros anos do século 21, como um conceito complexo e muito importante, Doug Laney estruturou a definição de Big Data em torno de três dimensões ou os chamados três Vs: volume, velocidade e variedade. Mais tarde, para enriquecer ainda mais o significado do big data, foram introduzidas mais duas dimensões: veracidade e valor (LANEY, 2001).

De longe, o primeiro V, volume, indica a colossal quantidade de dados produzidos. Como o número de dispositivos conectados à rede é extremamente alto, os dados com uma porcentagem muito substancial permanecem de baixa densidade e, portanto, não têm um valor claro. Desta forma, ele pode analisar dados e convertê-los em dados de alta densidade (dados com valor atribuído a eles) (EL-AFIFI et al., 2024). Softwares como o Hadoop¹ serão usados para lidar e processar o enorme volume de dados.

A próxima dimensão é a velocidade. Como dito por Lee (2017), uma taxa de geração, armazenamento e processamento de dados que cria demandas em tempo real para adquirir insights e estratégias em tempo.

A terceira dimensão é a variedade: existe uma grande variedade de fontes e formatos, além dos diversos tipos de dados gerados. Essas informações podem ser estruturadas se vierem de bancos de dados tradicionais ou não estruturadas em textos, áudios, GPS, transações de bolsa, entre outros. O outro problema que surge com isso é que quanto maior a variedade, mais será necessário analisar todos esses dados e extrair informações úteis para o negócio.

Gandomi e Haider (2015) citaram a IBM como tendo proposto um quarto V chamado veracidade que chega muito perto da confiabilidade e segurança das fontes que geram os dados. Elementos incertos têm a importância de que se a captura de dados for inconsistente, os gatilhos entregues podem facilmente provocar ações erradas, o que pode influenciar negativamente nas estratégias de negócios.

A quinta e última dimensão é o valor, que remete ao valor de qualquer dado e a densidade dele. Aqui, o objetivo é aumentar a densidade da informação por meio de técnicas analíticas resultando no verdadeiro valor de cada pedaço de informação. Esses tipos de estudos

¹ <https://hadoop.apache.org/>

se tornam mais fáceis com volumes tão gigantescos de dados capturados em uma unidade de tempo, pois uma amostragem estatística maior produz respostas mais confiáveis e significativas (ORACLE, 2016).

Pode-se categorizar a evolução dessa tecnologia em três avanços: Big Data 1.0, começando de 1994 a 2004; Big Data 2.0, de 2005 a 2014; e Big Data 3.0 de 2015 até agora. No ano de 1994, com o nascimento das primeiras vendas online, o início da fase 1.0 é considerado simultaneamente, e é neste ano que a metodologia de desenvolvimento da mineração da web é caracterizada de acordo com Lee (2017). Isso foi feito para recuperar informações das atividades dos usuários, informações de páginas da web e analisar a estrutura dessas páginas. Percebeu-se que ainda havia limitações em termos das informações que poderiam ser mineradas quando, em 2005, o sucesso das mídias sociais foi lançado, e a Web 2.0 foi acionada como o marco para o Big Data 2.0. Foi a década do período do segundo estágio, durante o qual os canais de comunicação começaram a crescer na e pela web. A coleta e o tratamento de dados de mídias sociais foram um dos principais recursos do Big Data 2.0, de onde respostas e resultados foram extraídos com base em estatísticas geradas por meio dos interesses e comportamentos do consumidor ativo na web. Por meio dessas pesquisas, o design de ações de marketing foi permitido tomar forma de acordo com as necessidades e preferências dos clientes, facilitando de tal forma que a venda de serviços e produtos fosse possível. A terceira e última etapa começou no ano de 2015, incorporando as técnicas do Big Data 1.0 e 2.0 às funcionalidades da IoT para extração de informações de vídeos, imagens e áudio. O Big Data 3.0 se destaca pelo uso dessa tecnologia em Fábricas Inteligentes associadas a conexões de dispositivos e sensores para retirar dados de análises em tempo real (LEE, 2017).

Para tratar o grande volume de dados, estruturados ou não, surgem softwares de banco de dados NoSQL. Como por exemplo o Big Table utilizado internamente pela Google e o DynamoDB da Amazon. (TAURION, 2013)

Depois da estruturação é necessário analisar esses dados, ou seja, entra o componente de analytics. Essa etapa é fundamental para transformar os dados em valor para o negócio. É fundamental a aplicação de inteligência artificial e Machine Learning para viabilizar a máxima potência do Big Data (SAP, s.d).

Com toda a estrutura de dados pronta e sendo continuamente analisada, é viável aplicá-la em diversos setores. Usar dados em tempo real de coletados de sensores e outras fontes é possível identificar padrões que indiquem potenciais falhas de equipamentos, ajudando a manter uma escala de manutenção mais proativa e minimizando paradas. O controle de inventário através de previsões de demandas e redução de estoques por meio de histórico de

dados. O controle de qualidade também pode ser feito por meio de identificação de irregularidades na qualidade da produção, sendo possível tomar ações antes que os produtos sigam em direção ao cliente (PROJECTPRO, 2024).

4.4 – Manufatura aditiva

A manufatura aditiva é um processo de fabricação por meio da adição sequente de material formando camadas, com as informações a respeito do formato obtidas através de um modelo no computador representado geometricamente em 3D. Esse processo consecutivo de adição permite a fabricação de diversos componentes físicos feitos de variados materiais. Sendo um processo totalmente automatizado e de rápida velocidade, se comparado com os meios ultrapassados.

O processo de fabricação se inicia com o modelo 3D sendo “fatiado” resultando nas “curvas de nível” 2D, que são as chamadas “camadas”. Ao serem consecutivamente empilhadas, da base até o topo, as camadas dão formato ao objeto final.

Uma característica muito importante da manufatura aditiva é a sua facilidade de automatização e a mínima interferência do operador. O operador se faz necessário para fazer a alimentação do equipamento com o material e ajuste de parâmetros, além da retirada do produto e limpeza.

A manufatura aditiva só foi possível graças a junção dos processos tradicionais de manufatura (como metalurgia, soldagem e usinagem) com tecnologias atuais de controle de movimentos de alta precisão, sistemas de impressão a jato de tinta e novos materiais (VOLPATO, 2021)

4.5 – Computação em nuvem

A computação em nuvem é a capacidade de acessar um conjunto de recursos de computação pertencentes e mantidos por terceiros via internet. A "nuvem" é composta por *hardwares*, armazenamento, redes, interfaces e serviços que fornecem os meios pelos quais os usuários podem acessar a infraestrutura, poder computacional, aplicativos e serviços sob demanda, que são independentes de locais. Assim, os dados disponíveis na "nuvem" podem ser acessados por vários usuários de qualquer lugar por dispositivos diferentes como *smartphones*, computadores, tablets, servidores entre outros (ARORA; PARASHAR, 2013).

De acordo com Microsoft Azure (2018), os serviços prestados de computação em nuvem se dividem em 3 categorias, sendo elas IaaS (infraestrutura como serviço, do inglês

Infrastructure as a Service), PaaS (plataforma como serviço, do inglês *Platform as a Service*) e SaaS (software como serviço, do inglês *Software as a Service*).

- *Software as a Service*, SaaS – O software como serviço refere-se a qualquer aplicação que a empresa corra sem que esta esteja instalada localmente. Nesta categoria os consumidores do serviço de cloud não têm controle sobre a infraestrutura da nuvem. Estes apenas colocam as suas aplicações num ambiente de hospedagem que pode ser consultado por redes de vários clientes, computadores ou até mesmo dispositivos móveis. Alguns exemplos deste tipo de serviço são Google Mail, Google Docs e Word;

- *Platform as a Service*, PaaS – Plataforma como serviço refere-se aos serviços de computação na cloud que fornecem um ambiente a pedido para desenvolver, testar, fornecer e gerir aplicações de software e aplicações de cloud. Ou seja, a principal diferença entre SaaS e PaaS é que a primeira apenas possibilita a hospedagem de aplicações concluídas enquanto PaaS oferece uma plataforma de desenvolvimento. No entanto, em PaaS o consumidor não configura nem gere a infraestrutura dos servidores, o armazenamento, a rede e as bases de dados necessárias para o desenvolvimento. Um exemplo de PaaS é o Google AppEngine ou o Visual Studio.

- *Infrastructure as a Service*, IaaS – Infraestrutura como serviço corresponde, de forma bastante simplicista, ao aluguer da infraestrutura de I.T., ou seja, os consumidores deste serviço usam diretamente o armazenamento, processamento, redes, sistemas operativos e outros recursos computacionais fundamentais do fornecedor de cloud IaaS. Um exemplo de IaaS é o EC2 da Amazon.

A computação em nuvem se sustenta em cinco pilares definidos (DILLON, 2010):

- *On-demand Self-Service* - O consumidor dos serviços de nuvem possui capacidade de ajustar, personalizar e configurar os seus serviços diretamente, isto é, sem que exista a necessidade de recorrer a intermediários. Estas ações podem ser realizadas, por exemplo, através de um portal web;

- *Broad Network Access* – Tal como referido anteriormente, os recursos cloud são entregues pela rede, por exemplo, pela Internet e baseiam-se em padrões que permitem o acesso a vários clientes com plataformas heterogêneas, tais como, telefones, computadores ou tablets;

- *Resource pooling* – Os recursos de computação do provedor são agrupados por segmentos de forma a responder às necessidades de múltiplos consumidores utilizando a multi alocação ou a virtualização do modelo. Um modelo baseado em pool pretende que os recursos de computação física se tornem invisíveis para o consumidor. Por exemplo, um consumidor

não tem a capacidade de identificar onde os seus dados serão armazenados na nuvem. Por outras palavras, este apenas tem acesso ao recurso que necessita;

- Elasticidade – A *cloud* tem a capacidade de ser expandida e ajustada de acordo com as necessidades do consumidor a qualquer momento. Desta forma, os recursos de processamento, armazenamento, memória e utilização de banda são ajustados conforme necessário sem que o consumidor tenha de se preocupar com o crescimento da sua empresa e o processo de expansão;

- *Measured Service* – Os sistemas de computação em cloud são recursos agrupados e compartilhados por vários consumidores, tal como referido anteriormente no conceito *resource pooling*. Contudo, a infraestrutura de nuvem permite utilizar mecanismos apropriados para medir o uso dos recursos de cada consumidor.

Segundo a Google Cloud (s.d), ao se escolher uma arquitetura de nuvem, existem três modelos de implantação para fornecer os serviços: nuvem pública, nuvem privada e nuvem híbrida.

- Nuvem pública: Fornecem recursos como computação, armazenamento, rede, ambientes de desenvolvimento e aplicativos pela Internet.

- Nuvem privadas: São criadas, executadas e usadas exclusivamente pela organização e localizada no local. Proporcionam maior controle e segurança de dados, mas possui maior custo associado e algumas limitações de recursos.

- Nuvem híbrida: São ambientes que mesclam pelo menos um ambiente privado com uma ou mais nuvens públicas. Permite maior aproveitamento de diversos recursos e serviços de cada ambiente de computação.

4.6 – IOT

O termo internet das coisas (IoT) foi cunhado pelo professor Ashton do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) em 1999 e, inicialmente, dizia respeito ao fato de que todas as “coisas” poderiam ser interconectadas por uma rede sem fio. Esta conexão se dá por etiquetas RFID (*Radio Frequency Identification Tags*), sensores de infravermelho, sistemas de posicionamento global (GPS), *scanners* a laser, sensores de gás e outros equipamentos de detecção de informações (JIAO; LIU, 2019).

Segundo Oliveira (2020), a combinação de eletrônica e conectividade proporcionam novas capacidades e funções aos produtos, transformando-os em produtos inteligentes. E a nomenclatura resulta do fato desses produtos serem conectáveis, adaptáveis, conscientes e inteligentes.

Conectáveis, pois são equipados com dispositivos de comunicação que possibilitam a conexão máquina a máquina (M2M), permitindo a interação e troca de informações entre dispositivos. Além disso, esses dispositivos também podem contar com sistemas de comunicação que permitem a interação com seres humanos. Adaptáveis, porque os produtos inteligentes possuem tecnologia de controle que permite a adaptação autônoma com base em comandos internos ou externos. Conscientes, porque estão equipados com sensores que permitem a coleta de dados tanto sobre seu próprio estado quanto sobre o ambiente ao redor. Por fim, inteligentes, pois dispõem de capacidade para realizar processos autônomos, o que lhes possibilita tomar decisões e aprender de forma independente.

Segundo Al-Fuqaha et al. (2015), existem seis elementos essenciais para o funcionamento da Internet das Coisas (IoT).

A primeira etapa é a identificação, que é crucial, pois permite identificar os objetos para conectá-los à internet. Existem várias tecnologias disponíveis para essa identificação, como códigos eletrônicos de produto (EPC), códigos onipresentes (uCode), RFID, NFC (Near Field Communication) e endereçamento IP. É importante diferenciar o ID do objeto do seu endereço, pois os métodos de identificação não são globalmente exclusivos. O endereçamento, nesse contexto, auxilia na identificação de objetos que vêm de IPs públicos, fornecendo uma identidade clara para cada objeto na rede.

A segunda etapa é a detecção, realizada por sensores e atuadores da IoT. Esses sensores coletam informações de objetos conectados à rede, que são então armazenadas em data warehouses, centros de armazenamento ou na nuvem. Após a análise, os dados são usados para executar ações específicas, quando necessário. Os atuadores, por sua vez, podem interagir com o ambiente ou responder quando acionados.

Na terceira etapa, ocorre a comunicação entre as tecnologias IoT e os objetos, com o objetivo de fornecer serviços inteligentes. A comunicação também é importante para o consumo de energia dos dispositivos, que devem operar com baixo consumo em função dos links de comunicação. Exemplos de tecnologias usadas nessa etapa incluem WiFi, Bluetooth, IEEE, RFID, NFC e banda ultralarga (UWB).

A quarta etapa é a computação, que envolve a inclusão de unidades de processamento, como microcontroladores, microprocessadores, SOCs, FPGAs e aplicativos de software, que juntos formam o "cérebro" e a capacidade computacional da IoT. Esses componentes são responsáveis por executar algoritmos locais nos dispositivos inteligentes.

A quinta etapa é relacionada aos serviços. Na IoT, existem diferentes classes de serviços:

- Serviços de identidade, que mapeiam Entidades Físicas (EF) em Entidades Virtuais (EV);
- Serviços de agregação de dados, que coletam dados homogêneos ou heterogêneos de dispositivos inteligentes;
- Serviços colaborativos, que agem sobre os dados agregados para tomar decisões e responder a determinados cenários;
- Serviços de ubiquidade, que fornecem inteligência e colaboração em qualquer momento e lugar necessários.

O último elemento da IoT é a semântica, que envolve a capacidade de extrair conhecimento inteligente de diferentes máquinas para oferecer os serviços desejados. Isso significa usar os dados obtidos dos objetos da IoT para descobrir como utilizar os recursos de forma eficiente e tomar decisões adequadas. Técnicas como *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL) e *Efficient XML Interchange* (EXI) podem ser usadas para esse fim.

4.7 – Integração horizontal e vertical

A base da integração provém da utilização de Sistemas Ciber-Físicos (CPS), que permitem respostas rápidas e eficientes a diferentes situações, como a conexão entre estoque e demanda de produtos, a manutenção de equipamentos e a gestão de atrasos nas entregas (ANASTASIA, 2015).

Para implementar a integração vertical, a digitalização em diferentes camadas da indústria é fundamental, sendo que cinco níveis principais foram estabelecidos.

O primeiro é o nível de chão de fábrica, caracterizado pela interface com o processo de manufatura, que utiliza sensores e atuadores.

O segundo é o nível de controle, responsável pela regulação das máquinas e sistemas. Essa camada pode envolver diversos sistemas, sendo os mais comuns os Controladores Lógicos Programáveis (PLC). O PLC é um computador que executa funções específicas pré-programadas por um ser humano, utilizado para gerenciar processos de forma automatizada. Em outras palavras, para que um sistema mecânico seja automatizado, é necessário um PLC, que contém as informações necessárias sobre as ações a serem realizadas, funcionando como o "cérebro" do sistema.

O terceiro é o nível de produção, que monitora, controla e supervisiona as linhas de produção, normalmente, através de sistemas de supervisão e aquisição de dados, SCADA. Este

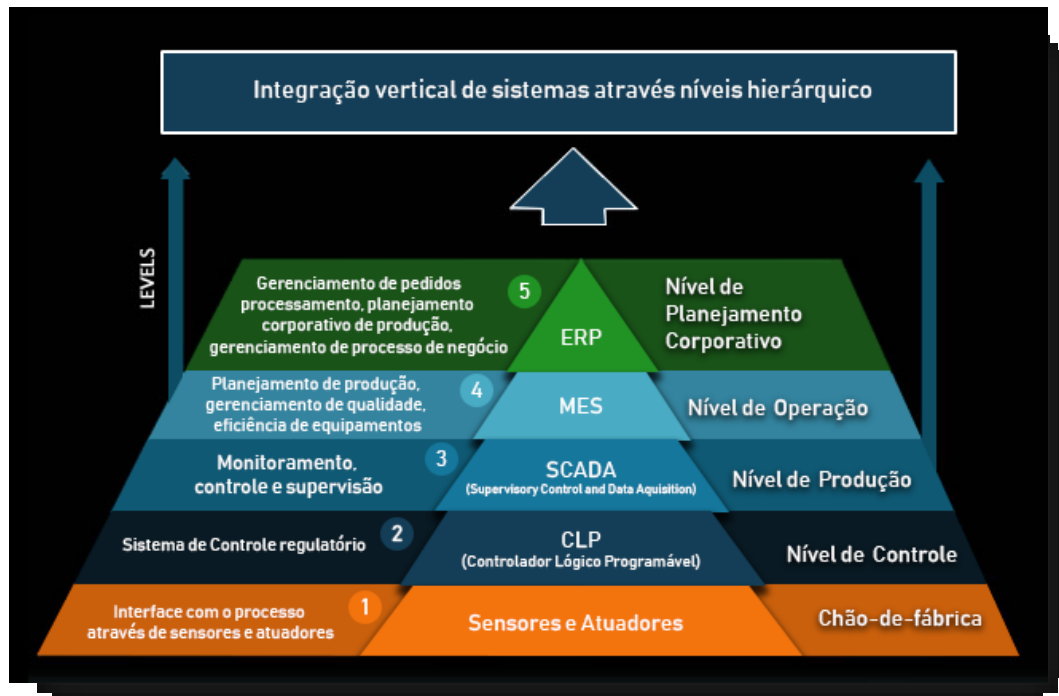
sistema é, tipicamente, uma combinação de software integrado a elementos de hardware (DANEELS, 1999). Geralmente, os sistemas de supervisão e aquisição de dados incluem uma interface, permitindo que os operadores se comuniquem diretamente com o sistema (COPADATA, s.d.). Dessa forma, ao utilizar um sistema SCADA, é possível controlar processos industriais. Além disso, ele permite que as empresas gerem relatórios de produção com base em dados em tempo real.

O quarto é o nível de operação, onde se realiza o planejamento da produção, o gerenciamento da qualidade e a eficiência dos equipamentos, chamado de *Manufacturing Execution System* (KLETTI, 2007). O MES pode operar em diversas áreas, tais como:

- Visão em tempo real do chão de fábrica;
- Parametrização, planejamento e execução da produção;
- Automatização da ligação entre logística e produção;
- Registo e análise, de indicadores e métricas de produção, performance e qualidade;
- Otimização da produção e da qualidade do produto final. (ISEP, 2019).

Por fim, o quinto é o nível de planejamento corporativo, que lida com a gestão de pedidos e o planejamento geral da produção, chamado de *Enterprise Resource Planning*, ERP (I-SCOOP, 2016). De forma mais específica o ERP se trata de um software que fornece um suporte detalhado para a gestão de processos empresariais (HILLEGERSBERG, 2000). Geralmente, o sistema inclui diversos módulos voltados para diferentes áreas, como: gestão de estoques, contabilidade, recursos humanos, entre outras funções que auxiliam na administração de uma empresa. A Figura 3 ilustra os níveis descritos.

Figura 3 – Integração vertical através de níveis hierárquicos

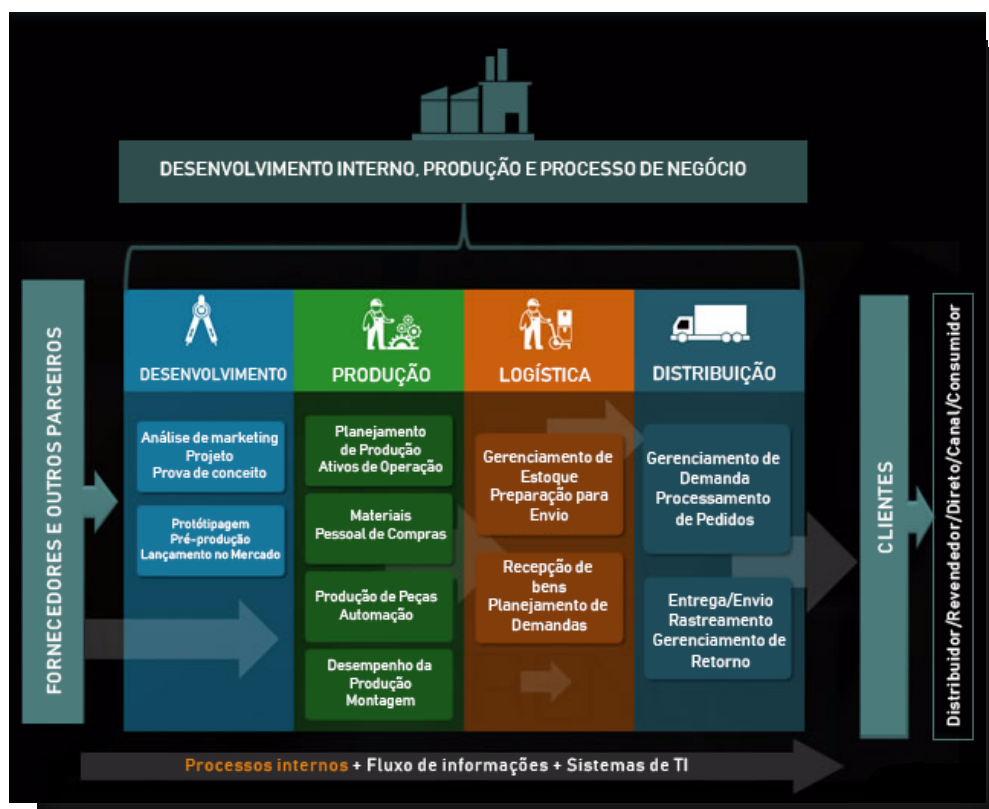


Fonte: I-Scoop. Adaptado por Logique sistemas

A integração horizontal interliga os setores da cadeia produtiva da indústria, isto significa, ela integra os vários sistemas e fluxos de informações de todas as etapas necessárias do processo de produção. Abrangendo a gestão de fornecedores, produção, logística de distribuição e gestão de clientes (OLIVEIRA, 2020).

Uma das principais vantagens competitivas da integração horizontal é o controle que os clientes têm sobre toda a cadeia produtiva, desde o pedido, passando pelo desenvolvimento, composição e distribuição dos produtos. Isso permite um gerenciamento dinâmico e em tempo real de fatores como tempo, risco, qualidade, preço e sustentabilidade ambiental (DELOITTE, 2015). A figura 4 ilustra o fluxo da integração horizontal.

Figura 4 – Cadeia de integração horizontal.



Fonte: I-Scoop. Adaptado por Logique sistemas

4.8 – Simulação

Com o avanço dos processos de simulação, diversas estratégias foram desenvolvidas para garantir o sucesso na virtualização de projetos. De Paula (2018) apresentou uma metodologia composta por algumas etapas essenciais: definir, testar, avaliar, melhorar, implementar e monitorar.

Primeiramente, o problema é formulado para definir a modelagem conceitual, que envolve todos os modelos, soluções e métricas geradas para determinar as variáveis do sistema. Em seguida, inicia-se o processo de simulação com base nos dados inseridos no programa, sendo que a qualidade dessas informações é crucial para obter resultados consistentes. Depois disso, estuda-se o modelo simulado, testando diferentes cenários para identificar pontos de melhoria. Após concluir todas as etapas, o modelo é implementado na operação, sendo

necessário o acompanhamento contínuo das mudanças realizadas para validação da efetividade da simulação.

A escolha do software para a virtualização de uma fábrica é de grande importância e deve ser feita de acordo com as necessidades do profissional. Um exemplo amplamente utilizado nas indústrias químicas é o Intergraph CADWorx, que permite a criação de plantas 3D inteligentes, ilustrado nas Figuras 5 e 6. Esse tipo de software oferece visibilidade em tempo real do processo, auxiliando na visualização funcional da planta, além de facilitar a identificação de otimizações e potenciais riscos à segurança no processo (MORAN, 2016).

Figura 5 – Modelo de site produzido através do software CADWorx



Fonte: Moran (2016)

Figura 6 – Modelo de layout de planta produzido no software CADWorx



Fonte: Moran (2016).

4.9 – Robôs Autônomos

No contexto da Indústria 4.0, os robôs são solicitados por conseguirem trabalhar de forma abundante com uma baixa taxa de falha, além de serem essenciais para a realização de serviços considerados impossíveis para humanos, seja pela insalubridade do local ou pela capacidade de carga (BRUGALI; FAYAD, 2002).

Algumas vantagens do uso da robótica na indústria são:

- Redução dos custos de produção com rápido retorno sobre o investimento;
- Otimização do ciclo de fabricação, com robôs que aumentam as taxas de produção;
- Melhoria da qualidade, com a realização de tarefas específicas na linha de produção;
- Economia de espaço, tornando o fluxo do processo mais eficiente;
- Redução de desperdício, com robôs que economizam matéria-prima;
- Menor necessidade de operadores especializados próximos à produção, devido ao uso de robôs na linha.

Com o objetivo de "humanizar" os robôs, utiliza-se a inteligência artificial. Por meio dela, os robôs são programados para pensar antes de agir, aprender a tomar decisões, reconhecer falhas e identificar padrões repetitivos (FACULDADE IMPACTA, 2019).

Os robôs podem apresentar diversas vantagens e desvantagens, sendo escolhidos de acordo com a tarefa a ser realizada, sempre com foco na melhoria dos processos. Um dos principais pontos discutidos sobre a introdução de robôs na indústria é a possível substituição

da mão de obra humana. No entanto, acredita-se que os robôs, na verdade, abrirão espaço para que os trabalhadores humanos se qualifiquem nas áreas de reparo e controle, contribuindo para o aperfeiçoamento da indústria em várias frentes. A ideia é que humanos e robôs trabalhem sempre em conjunto (TOTVS, 2020).

4.10 – Realidade aumentada

O conceito de realidade aumentada corresponde a uma série de dispositivos tecnológicos capazes de sobrepor imagens virtuais ao mundo real. O primeiro dispositivo a inserir as pessoas em uma realidade tridimensional, sem distinção clara entre o real e o virtual, o Head Mounted Display, foi apresentado nos anos 60 por Ivan Sutherland (PORTER; HEPPELMANN, 2017). Porém, foi apenas na década de 90, que a realidade aumentada se estabeleceu foi utilizada em larga escala (DINI; MURA, 2015).

Com o avanço das tecnologias digitais, o uso de dispositivos de realidade aumentada oferece suporte no controle e manutenção de máquinas, além de ser utilizado em treinamentos para desenvolvimento pessoal, tornando-se fundamental para otimizar o tempo e reduzir custos.

O uso da realidade aumentada permite a realização de simulações e treinamentos, de maior qualidade. Ela também aumenta a eficiência de processos de manutenção e reparos de equipamento de fábrica, permitindo que o técnico consulte tutoriais, manuais e instruções em tempo real (SEBRAE, s.d).

4.11 – Cibersegurança

Um dos pilares da Indústria 4.0, a integração vertical e horizontal, pode expor os sistemas da fábrica a vulnerabilidades de segurança, devido à necessidade de utilização de redes na integração da planta industrial. As falhas ocorrem durante a comunicação entre os níveis da cadeia hierárquica, quando os dados são transmitidos dos sistemas de nível de fábrica (sensores e atuadores) para os sistemas de nível de negócios. Como consequência dessas falhas de segurança, a fábrica fica vulnerável a ataques que afetam os dados e a interferências no mundo físico, o que pode impactar no ambiente e na segurança das pessoas (VENTURELLI, 2018).

Para prevenir invasões e mitigar seus impactos é recomendado que uma planta industrial inclua em seus sistemas de segurança ferramentas capazes de detectar riscos, proteger a infraestrutura da rede, identificar atividades incomuns, reagir a ataques e promover a recuperação do sistema após uma invasão. Três pilares fundamentais foram estabelecidos para garantir a segurança na Indústria 4.0: confidencialidade, integridade e disponibilidade.

O primeiro pilar, confidencialidade, visa proteger o sigilo das informações ao longo de toda a cadeia de valor, garantindo a segurança de dados sensíveis como propriedade intelectual e informações de clientes. O segundo, integridade, se refere a garantir que a informação permaneceu inalterada desde sua origem até o seu destino. O terceiro pilar, disponibilidade, assegura que as ferramentas de segurança mantenham o funcionamento dos dispositivos, evitando a desativação de componentes e a desestabilização dos sistemas (GOES, 2019).

5.0 APLICAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS DIFICULDADES

5.1 Siemens e BASF

A transformação digital impulsionada pela Indústria 4.0 na indústria química visa otimizar processos, aumentar a eficiência e melhorar a sustentabilidade. Um exemplo prático é o caso da BASF no Brasil, onde a Siemens integrou o sistema de controle SIMATIC PCS 7 com o software de engenharia COMOS, atuando no gerenciamento de dados. Esse projeto de digitalização no complexo químico de Guaratinguetá unificou dados e processos, permitindo a criação de um Gêmeo Digital para gestão e controle precisos da planta.

Essa integração facilita a rastreabilidade e o gerenciamento centralizado de documentos e operações, substituindo o sistema em papel por uma base digital “As Is”, que reflete o estado atual e reduz riscos e ineficiências. O Gêmeo Digital viabilizado pela Siemens, além de otimizar a gestão de mudanças — com cerca de 500 alterações anuais no processo —, oferece flexibilidade para adaptar fluxos de trabalho e operações conforme a demanda.

Com a centralização de dados e a digitalização dos testes e documentos, a BASF obteve ganhos em sustentabilidade e segurança. Adicionalmente, a introdução da fibra óptica na substituição de cabos de cobre na rede elétrica do complexo tornou o processo mais sustentável, reduzindo emissões e otimizando o consumo de recursos.

Esses avanços exemplificam os benefícios tangíveis da Indústria 4.0, incluindo menor custo, maior sustentabilidade e mais controle na gestão industrial, sendo uma referência para futuras digitalizações na indústria química (BASF, 2020).

5.2 Sensores inteligentes

A Indústria 4.0 trouxe uma transformação significativa para a indústria química por meio do uso de sensores inteligentes, que desempenham um papel essencial na manutenção preditiva e no monitoramento contínuo de processos. Esses sensores são capazes de coletar, processar e transmitir grandes volumes de dados em tempo real, tornando possível prever e

corrigir falhas antes que ocorram, o que aumenta a eficiência e a confiabilidade dos equipamentos industriais (TUCKER, 2015).

O monitoramento contínuo, facilitado por sensores conectados e baseados em Internet das Coisas (IoT), proporciona dados valiosos sobre variáveis como vibração, temperatura, umidade e até mesmo a viscosidade dos lubrificantes. No contexto industrial químico, esses sensores oferecem detalhes sobre o desempenho dos equipamentos, ajudando a evitar manutenções corretivas inesperadas que poderiam interromper processos críticos. Esse tipo de monitoramento remoto também possibilita identificar problemas estruturais, como desalinhamento de máquinas, desgastes de rolamentos e folgas excessivas, permitindo uma resposta proativa (PETRILLO; CIOFFI; FELICE, 2018).

Ao integrar tecnologias de Big Data e aprendizado de máquina, a análise desses dados torna-se ainda mais poderosa, revelando padrões complexos que ajudam a prever falhas com precisão e a tomar decisões informadas sobre o momento ideal para intervenções de manutenção. Assim, as plantas químicas podem operar com menos tempo de inatividade, menor consumo de energia e maior vida útil dos equipamentos (MOWBRAY et al., 2022).

Essa integração de sensores inteligentes na indústria química não só melhora a produtividade e a segurança como também oferece uma abordagem mais sustentável, reduzindo o consumo de recursos e aumentando a eficiência energética. Essa inovação representa um avanço importante para a manutenção preditiva e o gerenciamento da confiabilidade de processos na indústria química, promovendo uma operação mais inteligente e sustentável para atender às demandas do mercado atual e futuro (SEMEQ, s.d.).

5.3 Henkel investe em Machine learning

Em 2020, a Henkel AG & Co. KGaA, uma renomada empresa alemã de bens de consumo com mais de 140 anos de história, realizou um investimento estratégico na Fero Labs, uma startup dedicada a soluções de aprendizado de máquina para otimização de processos industriais. A parceria visa expandir a presença de mercado da Fero Labs, apoiando o crescimento de sua base de clientes. Simultaneamente, a Henkel planeja alavancar as tecnologias de Indústria 4.0 desenvolvidas pela Fero para aumentar a eficiência e a qualidade de suas operações em unidades produtivas, além de incentivar o desenvolvimento de parcerias com seus clientes e fornecedores em projetos conjuntos.

A Fero Labs, com sede em Nova York e um segundo escritório em Düsseldorf, desenvolveu o software “Fero,” um pacote de aprendizado de máquina que facilita a otimização

dos processos de produção ao oferecer visibilidade clara sobre o impacto das variáveis de entrada em cada etapa. Diferente de soluções do tipo “caixa-preta,” o Fero permite que os usuários visualizem os intervalos de confiança dos modelos de previsão, fornecendo maior transparência e precisão nos ajustes de processo.

A empresa destaca parcerias com gigantes industriais, como Gerdau, Bosch, Covestro e Evonik, para aplicar essa tecnologia inovadora em diferentes setores e garantir maior confiabilidade e qualidade em suas operações.

Este investimento reflete a estratégia da Henkel de adotar e desenvolver tecnologias avançadas, destacando-se como um exemplo de aplicação prática e bem-sucedida dos conceitos de Indústria 4.0 na indústria química, fortalecendo sua posição no mercado global e reafirmando o compromisso com a inovação e a sustentabilidade (HENKEL, 2020)

5.4 DuPont e a inovação em inteligência artificial

A DuPont está à frente em inovações de Inteligência Artificial (IA) aplicadas a interconexões avançadas, voltadas para o suporte de circuitos de alta complexidade. Essas inovações foram destacadas na Exposição Internacional de Circuitos Eletrônicos de 2024 em Xangai, onde a empresa apresentou soluções para embalagens avançadas e substratos de circuitos integrados, fundamentais para aplicações de IA e computação de alto desempenho. A DuPont investe em novos materiais, como revestimentos e encapsulantes, que otimizam o gerenciamento térmico e a integridade de sinal, ambos essenciais para dispositivos de alta frequência e velocidade.

Esses avanços incluem o desenvolvimento de tecnologias que suportam CPUs e GPUs avançadas, que exigem alta eficiência para lidar com o crescente volume de dados gerado pelas operações de IA. A empresa destaca o uso de cobre e soluções híbridas para substratos 3D, que permitem uma estrutura heterogênea altamente confiável, atendendo às rigorosas exigências de qualidade e durabilidade na produção de semicondutores de última geração. Esses materiais viabilizam circuitos mais compactos e de melhor desempenho, essenciais para o avanço da Indústria 4.0.

Além dos ganhos em desempenho, a DuPont também oferece produtos para solucionar desafios de miniaturização e integridade de sinal em circuitos, cada vez mais complexos. Suas soluções de encapsulamento e gestão térmica são fundamentais para manter a estabilidade dos componentes, promovendo maior durabilidade e precisão nos processos de fabricação. Com esse portfólio, a DuPont consolida seu papel como líder em inovação, contribuindo

significativamente para a evolução dos circuitos eletrônicos no setor químico e eletrônico e alinhando-se às demandas da digitalização industrial (DUPONT, 2024).

5.5 Desafios de implementação

Apesar de diversas indústrias ao redor do mundo estarem investindo seus recursos na implementação da indústria 4.0, essa não é a realidade de todas as fábricas no Brasil. A CNI (Confederação Nacional da Indústria) (2016) listou os sete tópicos prioritários a respeito dos desafios do desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil:

- Aplicação em cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores;
- Mecanismos para impulsionar e adotar de novas tecnologias;
- Desenvolvimento de tecnologias;
- Expansão e melhorias na infraestrutura de banda larga;
- Aspectos regulatórios;
- Treinamento da mão de obra;
- Coordenação Industrial.

Aaron Ricadela da Oracle (2023) destaca que a infraestrutura de tecnologias da informação ultrapassada e equipamentos antigos com falta de sensores e conexão com internet podem dificultar a integração com novos softwares e produção de dados. Além disso, muitas empresas não conseguem alocar seus recursos e investimentos na implementação. Outro ponto importante é sobre o risco com a cibersegurança, pois na indústria 4.0 as máquinas estão cada vez mais conectadas na internet e assim, mais suscetíveis a serem invadidas e terem sua segurança comprometida.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho realizou uma revisão de literatura sobre a Indústria 4.0, ou 4ª Revolução Industrial, destacando seu impacto transformador nas empresas e processos industriais. Diferente das revoluções anteriores, a 4ª Revolução Industrial é impulsionada não só pelo avanço das máquinas, mas também pela integração de tecnologias de computação, com destaque para a Internet das Coisas (IoT). A IoT conecta tecnologias em tempo real, gerando e processando grandes volumes de dados, o que permite que empresas tomem decisões precisas e antecipem falhas.

A aplicação de Big Data na Indústria 4.0, junto com inteligência artificial e aprendizado de máquina, permite lidar com dados complexos e potencializa a automação, viabilizando o uso de robôs e algoritmos avançados para otimizar processos e assegurar a segurança dos trabalhadores. A pesquisa concluiu que as tecnologias da Indústria 4.0 são vitais para o futuro industrial, consolidando a necessidade de engenheiros dominarem conhecimentos em computação, eletrônica e automação.

Além disso, exemplos de empresas como Basf e Henkel ilustraram como a Indústria 4.0 já oferece resultados expressivos, tornando-a não só uma realidade, mas uma direção inevitável para uma produção cada vez mais tecnológica e interconectada, onde o mundo físico e virtual se funde no ambiente industrial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. A Indústria Química – Conceito. São Paulo: Abiquim, 2006. Disponível em: <https://abiquim-files.s3-us-west-2.amazonaws.com/includes/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-Conceitos.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

ABIQUIM. O Desempenho Da Indústria Química Em 2022. São Paulo: Abiquim, 2023. Disponível em: https://docs.google.com/viewer?url=https://abiquim-files.s3-us-west-2.amazonaws.com/uploads/guias_estudos/o_desempenho_da_industria_quimica_bra_2022.pdf&embedded=true. Acesso em: 05 set. 2024.

AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 4, p. 2347–2376, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>. Acesso em: 08 set. 2024.

ANASTASIA. Industry 4.0: Everything You Need To Know. 2015. Disponível em: <https://www.cleverism.com/industry-4-0-everything-need-know/>. Acesso em: 18 set. 2024.

ARORA, R.; PARASHAR, A. Secure User Data in Cloud Computing Using Encryption Algorithms. **International journal of engineering research and applications**, v. 3, n. 4, p. 1922–1926, 2013.

BASF. Siemens e BASF transformam unidade do Complexo Químico em Guaratinguetá em planta inteligente com digitalização de todo o processo fabril . Disponível em: https://www.basf.com/br/pt/media/news-releases/2020/10/BASF_Siemens. Acesso em: 27 set. 2024.

BOURELL, D.; BEAMAN, J.; LEU, M.; ROSEN, D. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. In: RAPIDTECH 2009: US-TURKEY WORKSHOP ON RAPID TECHNOLOGIES, 2009.

BRUGALI, D.; FAYAD, M. E. Distributed computing in robotics and automation. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, 2002.

CONNER, B. P.; MANOGHARAN, G. P.; MARTOF, A. N., RODOMSKY, L. M.; JORDAN, Dakesha C.; LIMPEROS, J. W. Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, Estados Unidos, v. 1-

4, p. 64-76, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.08.005> . Acesso em 15 out. 2024.

COPADATA. (s.d.). *COPADATA*. Obtido em Dezembro de 2019, Disponível em: <https://www.copadata.com/>

CREMASCO, M. A. **Vale a Pena Estudar Engenharia Química**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

DANEELS, W. International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. *WHAT IS SCADA?* Trieste, Italy, 1999.

DE PAULA, O. M. Simulação e Lean na Indústria 4.0. Disponível em: <http://excelenciaempauta.com.br/simulacao-e-lean-na-industria-4-0/> . Acesso em: 17 out. 2024.

DILLON, C. W. (2010). Cloud Computing: Issues and Challenges. 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Perth, WA.

DINI, G.; MURA, M. D. Application of Augmented Reality Techniques in Through-life Engineering Services. *Procedia CIRP*, Pisa, v. 38, p. 14-23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.044> . Acesso em 16 out. 2024.

DUPONT. DuPont Showcases AI Innovations Featuring Advanced Interconnects at 2024 International Electronic Circuits Exhibition. 2024. Disponível em: <https://www.dupont.com/news/DuPont-Showcases-AI-Innovations-Featuring-Advanced-Interconnects-at-2024-International-Electronic-Circuits-Exhibition.html>. Acesso em: 27 de out. 2024.

EL-AFIFI, M. I.; SEDHOM, B. E.; ELADL, A. A.; PADMANABAN, S. Survey of technologies, techniques, and applications for big data analytics in smart energy hub. *Energy Strategy Reviews*, [S. l.], v.56, p. 101582, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007> . Acesso em 28 set. 2024. Acesso em 28 set. 2024.

FACULDADE IMPACTA. **O que é a Robótica industrial: entenda tudo sobre a área!** Disponível em: <https://www.impacta.com.br/blog/o-que-robotica-industrial-entenda-tudo-sobre> Acesso em: 4 out. 2024.

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, Toronto, v. 35 (2), p. 137-144, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007> . Acesso em 28 set. 2024.

GOES, N. Cibersegurança na Indústria Nacional. Robótica. Porto: CIE, n. 114, p. 56-62, jan./mar 2019.

GOOGLE CLOUD. Quais são os diferentes tipos de computação em nuvem?
Disponível em: <https://cloud.google.com/discover/types-of-cloud-computing?hl=pt-BR>
Acesso em: 20 de nov. 2024.

HENKEL. Henkel invests in machine learning software start-up Fero Labs. 2020.
Disponível em: <https://www.henkel.com/press-and-media/press-releases-and-kits/2020-02-04-henkel-invests-in-machine-learning-software-start-up-fero-labs-1028456>. Acesso em: 27 de out. 2024.

HERZOG, D.; SEYDA, V.; WYCISK, E.; EMMELMANN, C. Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia*, Alemanha, v. 117, p. 371-392, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.07.019> . Acesso em 01 out. 2024.

I-SCOOP. Industry 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0. 2016.
Disponível em: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/> . Acesso em: 05 set. 2024.

ISEP, I. S. (2019). DEM Sistemas Avançados de Produção (SIVAP).

JIAO, S.; LIU, R. P. A survey on physical authentication methods for smart objects in IoT ecosystem. **Internet of Things**, v. 6, p. 100043, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.02.003>. Acesso em: 20 set. 2024.

KAGERMA, Henning; WAHLSTER, Wolfgang e HELBIG, Johannes.
"Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0". 2013.
Disponível em: < <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>>. Acesso em: 13 set. 2024.

KLETTI, Jürgen (Ed.). **Manufacturing Execution Systems—MES**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007.

KUMAR, K.; HILLEGERSBERG, J. Van. ERP experience and evolution. *Communications of the ACM*, vol. 43 no. 4. Apr 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/332051.332063>. Acesso em: 14 de out. 2024.

LANEY, D. 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety. META Group Research Note, 6, 2001.

LEE, I. Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges. *Business Horizons*, Macomb, v. 60, p. 293-303, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.01.004>. Acesso em 29 set. 2024.

MICROSOFT AZURE. O que é computação em nuvem?. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/> . Acesso em: 20 out. 2024.

MORAN, S. Process Plant Layout — Becoming a Lost Art?. 2016. Disponível em: <http://www.chemengonline.com/process-plant-layout-becoming-lost-art/?printmode=1> Acesso em: 14 out. 2024.

MOWBRAY, M.; VALLERIO, M.; PEREZ-GALVAN, C.; ZHANG, D.; CHANONA, A. D. R.; NAVARRO-BRULL, F. J. Industrial data science – a review of machine learning applications for chemical and process industries. *React. Chem. Eng.*, v. 7, p. 1471-1509, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/D1RE00541C>. Acesso em: 13 set. 2024.

MUSSOMELI, A.; FITZGERALD, J. Rise Of The Machines — Autonomous Robots And The Supply Chain Of The Future. 2017. Disponível em: <https://www.mbtmag.com/article/2017/11/rise-machines-autonomous-robots-and-supply-chain-future> . Acesso em: 13 set. 2024.

NATIONAL CONFEDERATION OF INDUSTRY. Challenges for industry 4.0 in Brazil. 2016. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/challenges-industry-40-brazil/>. Acesso em: 21 Nov. 2024.

NGO, T. D.; KASHANI, A.; IMBALZANO, G.; NGUYEN, K. T. Q.; HUI, D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, Melbourne, v. 143, p. 172-196, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012> . Acesso em 11 set. 2024.

OLIVEIRA, M. Transformação Digital na Indústria. Faculdade de Ciências e tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 2020.

ORACLE. An Enterprise Architect's Guide to Big Data. Redwood Shores. 2016.

PETRILLO, A.; CIOFFI, R.; FELICE, F. D. (EDS.). Digital Transformation in Smart Manufacturing. *InTech*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69336>. Acesso em 11 set. 2024.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy. 2017. Disponível em: <https://hbr.org/2017/11/a-managers-guide-to-augmented-reality#why-every-organization-needs-an-augmented-reality-strategy> . Acesso em: 20 set. 2024.

RICADELA, A. 6 Industry 4.0 Challenges and Risks. Oracle. 2023. Disponível em: <https://www.oracle.com/industrial-manufacturing/industry-4-challenges/> Acesso em: 21 Nov. 2024.

RÜBMANN, M. et al. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. s.l.:The Boston Consulting Group. 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries. Acesso em: 03 de set. 2024.

SAP. O que é Big Data. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/technology-platform/what-is-big-data.html> Acesso em: 20 de nov. de 2024.

SAP. O que é uma fábrica inteligente. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/scm/what-is-a-smart-factory.html> Acesso em: 20 de nov. de 2024.

SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. São Paulo: Edipro, 2016.

SEBRAE. Realidade aumentada torna mais eficiente a indústria 4.0. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/realidade-aumentada-torna-mais-eficiente-a-industria-40,4d7bcf1a03fe5810VgnVCM1000001b00320aRCRD> Acesso em: 20 de nov. de 2024.

SEMEQ. Sensores inteligentes na indústria 4.0: saiba como eles revolucionaram o monitoramento. S.d. Disponível em: <https://semeq.com/pt/blog/sensores-inteligentes-industria-4-0/>. Acesso em: 27 de out. 2024.

SIEMENS. Migração perfeita para o SIMATIC PCS 7 com COMOS. 2021. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:bf7a1114-45db-427a-a1f4-b059bb5483ad/Migracao-SIMATIC-PCS7-COMOS-ABR21-Final.pdf>. Acesso em: 27 de out. 2024.

SMITH, H. GE Aviation to grow better fuel nozzles using 3D Printing. 2013. Disponível em: <http://3dprintingreviews.blogspot.com/2013/06/ge-aviation-to-grow-better-fuel-nozzles.html>. Acesso em: 10 de set. 2024.

SONDA. Tipos de nuvem: entenda a diferença entre híbrida, privada e pública. 2017. Disponível em: <https://blog.sonda.com/tipos-de-nuvem/>. Acesso em: 28 set. 2024.

TAURION, C. Big Data. Brasport, 2013. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=GAVLAGAAQBAJ&dq=big+data&lr=&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s Acesso em: 20 nov. 2024.

TOTVS. **Como é a aplicação da Inteligência Artificial na indústria?** Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/ind-stria-40-totvs/como-aplica-o-daintelig-ncia-artificial-na-ind-stria> Acesso em: 3 out. 2024.

TUCKER, B. Smart Actuators and Smart Sensors. [S. l.]: NY Research Press, 2015. 386 p.

VENTURELLI, M. A segurança de dados na Indústria 4.0. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/seguranca-de-dados-na-industria-4-0/>. Acesso em: 25 out. 2024.

VOLPATO, N. Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. Editora Blucher, 2021.

WOHLERS, T.; GORNET, T. History of additive manufacturing. Estados Unidos, 2016.

ZHAI, Y., LADOS, D.A. & LAGOY, J.L. Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation. *JOM* **66**, 808–816 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11837-014-0886-2> Acesso em: 13 de set. 2024.