Dataset Reports 3:1 (2024)
ISSN 2965-1182

RESEARCH ARTICLE

DATASET REPORTS

Indústria 4.0 na Logística 4.0

Industry 4.0 in Logistics 4.0

Fabio José Buchedid Vazquez [a*], Hugo Henrique da Silva [a], Vander da Silva e Sousa [a]

[a] Universidade Anhembi Morumbi, 03164-000, São Paulo, São Paulo, Brasil.

Resumo
A Indústria 4.0 revolucionou a forma como as empresas gerenciam suas operações, e seu impacto na logística do e-commerce tem sido significativo. Este artigo analisa a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data e automação, na logística do comércio eletrônico. Ao explorar as vantagens proporcionadas por essas tecnologias, como a otimização dos processos de armazenagem e transporte, o estudo destaca como elas podem melhorar a eficiência, reduzir custos e aumentar a capacidade de resposta às demandas do consumidor. Além disso, são discutidos os desafios enfrentados pelas empresas ao implementar essas inovações, especialmente em mercados emergentes, como o Brasil, onde limitações tecnológicas e estruturais podem dificultar a adoção ampla da Logística 4.0. O artigo também aborda o papel dessas tecnologias na promoção da sustentabilidade, ao permitir um uso mais eficiente de recursos e a redução de desperdícios ao longo da cadeia de suprimentos. Ao final, são discutidas as perspectivas futuras da Logística 4.0 e seu potencial para transformar o comércio eletrônico em um ambiente cada vez mais competitivo e orientado por dados.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Logística 4.0. E-commerce. Internet das Coisas (IoT). Otimização da cadeia de suprimentos. Sustentabilidade.

Abstract
Industry 4.0 has revolutionized how companies manage their operations, and its impact on e-commerce logistics has been significant. This article examines the application of Industry 4.0 technologies, such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), big data, and automation in e-commerce logistics. By exploring the advantages offered by these technologies, such as warehouse and transportation optimization, the study highlights how they can improve efficiency, reduce costs, and enhance responsiveness to consumer demands. Additionally, the challenges companies face in implementing these innovations are discussed, particularly in emerging markets like Brazil, where technological and structural limitations can hinder the widespread adoption of Logistics 4.0. The article also addresses the role of these technologies in promoting sustainability by enabling more efficient resource use and waste reduction throughout the supply chain. Finally, the future perspectives of Logistics 4.0 and its potential to transform e-commerce in an increasingly competitive and data-driven environment are discussed.

Keywords: Industry 4.0. Logistics 4.0. E-commerce. Internet of Things (IoT). Supply chain optimization. Sustainability.

Graphical Abstract



*Corresponding author: Fabio J. B. Vazquez. E-mail address: fabio.vazquez@gmail.com
Submitted: 12 September 2024; Accepted: 20 October 2024; Published: 23 October 2024.
© The Author(s) 2024. Open Access (CC BY 4.0).

ROYALDATASET

1. Introdução

A Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, representa um novo paradigma no ambiente industrial, caracterizado pela digitalização e automação avançadas, que integram tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data e sistemas ciberfísicos. Essa transformação impacta diretamente a logística, especialmente no setor de e-commerce (comércio eletrônico), ao otimizar processos e melhorar a eficiência operacional (Lasi et al., 2014). O conceito de Indústria 4.0 se baseia na convergência entre o mundo físico e o digital, promovendo a flexibilidade e a personalização em larga escala, fatores que são cruciais para a competitividade no comércio eletrônico (Cañas et al., 2021; Muniz Junior et al., 2023).

Com o crescimento exponencial do e-commerce, a integração das tecnologias da Indústria 4.0 na logística, conhecida como Logística 4.0, tornou-se vital para que empresas possam responder às demandas de forma ágil e eficiente. A aplicação de tecnologias digitais, como automação de armazéns, robótica, e monitoramento em tempo real, permite uma gestão mais eficaz da cadeia de suprimentos e melhora a experiência do cliente (Cabral Filho, 2023; Suleiman et al., 2022). Além disso, a utilização de dispositivos vestíveis e outras tecnologias emergentes potencializa a produtividade, ao permitir uma integração mais fluida em ambientes profissionais (Schwambach et al., 2024).

Além de aumentar a produtividade e a eficiência, a Indústria 4.0 na logística traz oportunidades para a sustentabilidade, como a redução de desperdícios e otimização no uso de recursos, o que contribui para um desenvolvimento mais responsável e consciente (Ghobakhloo, 2020). Contudo, essa transformação também apresenta desafios, especialmente em mercados emergentes, como o Brasil, que ainda enfrentam barreiras estruturais e tecnológicas para a implementação ampla dessas inovações (Pereira & Simonetto, 2018; Santos et al., 2018).

Este artigo tem como objetivo analisar a aplicação dos princípios da Indústria 4.0 na logística do e-commerce (conceitualmente, por utilizar tecnologias avançadas, para melhorar a eficiência, a produtividade e a lucratividade das empresas, qualificaremos tão somente pelo literal “Logística 4.0” - que é a evolução da logística tradicional, e está ligada à Indústria 4.0), discutiremos os benefícios e desafios dessa integração, e explorando o impacto dessas inovações na eficiência, sustentabilidade e competitividade das empresas no cenário global e nacional.

2. Metodologia

Esse estudo foi elaborado com base em pesquisas bibliográficas em trabalhos já realizados, revistas e periódicos especializados na área, normas técnicas, e artigos científicos publicados em congressos da área. As principais fontes de pesquisa utilizadas incluem Google, Sítios do Governo Federal, Sítios científicos tais como IEEE Xplore - Advancing Technology for Humanity, SciELO Brasil - Scientific Electronic Library Online, Teses da UNESP, e Pesquisas da FAPESP. As palavras-chave utilizadas nas pesquisas foram:

- Indústria 4.0, Industry 4.0;
- Logística 4.0, Logistics 4.0;
- Quarta Revolução Industrial e o Profissional, 4ª. Revolução Industrial;
- *e-commerce* (comércio eletrônico);
- Inovação, Eficiência, Customização, Interoperabilidade, Autonomia;
- *IoT - Internet of Things* (Internet das Coisas);
- *IoS - Internet of Services* (Internet dos Serviços);
- Inteligência Artificial (Artificial Intelligence);
- *Machine Learning: Big Data, Data Science, Deep Learning e Design Thinking;*
- *Supply Chain Management* (Gestão da Cadeia de Suprimentos), e
- CPS - Cyber-Physical Systems (Sistemas Ciber-Físicos), Sistemas Automatizados.

Usamos como base, conhecimentos adquiridos nos diversos ramos das Engenharias, em destaque para a Engenharia Mecânica, Engenharia de Controle e Automação e Engenharia da Computação. Nesse cenário, percebemos o potencial criador da "Indústria 4.0 na Logística 4.0", pois abrange:

- Inovação e Sistemas Automatizados
- *IOT - Internet of Things* (Internet das Coisas).
- Inteligência Artificial, *Machine Learning*, que por sua vez, compreende:
  - *Big Data;*
  - *Data Science;*
  - *Deep Learning, e*
  - *Design Thinking.*
- Computação em nuvem (cloud computing)
- *Supply Chain Management* (Gestão da Cadeia de Suprimentos).

Estabelecemos relações entre os fatos que ocorreram na história e que contribuíram para o desenvolvimento da Indústria 4.0. Além disso, identificamos cada marco e/ou revolução industrial a uma tecnologia específica, até as atuais. Essa prática pode ser feita listando as tecnologias da época para cada revolução industrial ao longo da história, identificando os pilares da Indústria 4.0 e suas aplicações. Traçamos um paralelismo hipotético relacionando passado, presente e futuro, desdobrando soluções inteligentes para melhoria da vida de nossa sociedade, preservando o desenvolvimento harmônico do ser humano, de seu ambiente e de seus valores.

3. Background sobre a Indústria 4.0

Quem disse que o Planeta Terra não seria uma grande nau autossustentável, o cume tecnológico da natureza, ainda que em franca evolução rumo ao espaço infinito, e ao infinito de possibilidades? O espaço sideral, com sua energia negra, seria a “Indústria n.0” perfeita (isso mesmo, “Indústria ene ponto zero” pois seria a hipótese do atingimento da eficiência ideal), para orquestrar e deslizar essa grande massa terrena em meio de rígida lei da física, aplicada ao magnetismo? Nessas conjecturas, notamos o poder desse sistema ciber-físico de equilíbrio harmônico da dinâmica mecânica, do meio material ao qual estamos imersos. Entendendo o mecanismo do macrocosmo, poderemos ampliar os estudos de nosso campo científico, para romper barreiras de possibilidades, aplicadas ao microcosmo Indústria 4.0 imita virtualmente a natureza em sua inteligência para o trabalho, cooperação, sinergia para operabilidade funcional controlada por autoaprendizagem. Quem detém o controle, detém também a segurança no processo a que se deseja protocolizar.

A análise do gráfico ilustrado na **Fig. 1** destaca as mais recentes tecnologias emergentes que estão transformando a forma como as organizações abordam segurança, privacidade e produtividade dos desenvolvedores, conforme elencado pela empresa de consultoria Gartner (2024). Um ponto importante mencionado é que as práticas de segurança frequentemente falham por depender da suposição de que os humanos podem agir de maneira completamente segura. Quando confrontados com a escolha entre segurança e entrega de negócios, os funcionários geralmente priorizam a entrega, ignorando controles de segurança. Para superar esse desafio, é necessária uma

abordagem centrada no ser humano, que integre segurança e privacidade ao design digital das organizações.

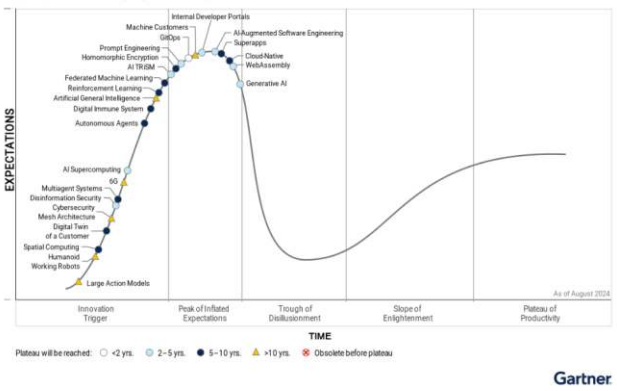

Fig. 1 Gartner 2024 Hype Cycle para tecnologias emergentes destaca produtividade de desenvolvedores, experiência total, IA e segurança. Fonte: Gartner (2024).

Além disso, a análise aponta tecnologias emergentes que suportam essa abordagem, como AI TRiSM, arquitetura de malha cibernética, sistema imunológico digital, segurança contra desinformação, aprendizado de máquina federado e criptografia homomórfica. Quanto à produtividade dos desenvolvedores, são destacadas a engenharia de software aumentada por IA, soluções cloud-native, GitOps, portais internos para desenvolvedores, engenharia de prompts e WebAssembly. A experiência total é apresentada como uma estratégia que entrelaça práticas de experiência do cliente, do funcionário, multiexperiência e experiência do usuário, utilizando tecnologias como gêmeos digitais de clientes, computação espacial, superaplicativos e 6G. Por fim, enfatiza-se que as organizações podem se tornar mais resilientes ao adotar técnicas de segurança e privacidade que fomentem uma cultura de confiança mútua e conscientização sobre riscos compartilhados entre as equipes (Gartner, 2024).

Nesses termos, vislumbramos o presente tema, como sendo uma tecnologia é uma grande aliada das empresas, tornando os processos eficientes e garantindo uma atuação cada vez mais completa, pois têm sido de fundamental importância para os mais diferentes tipos de e-commerces ativos na internet. O objetivo é planejar e modernizar o fluxo de suprimentos, desde o recebimento da matéria-prima até a entrega do produto finalizado. Os detalhes sobre a implementação da "Logística 4.0" nos e-commerces, sua importância e suas principais tendências para o mercado serão discutidos e analisados neste trabalho.

Dentro da vasta gama de temas que podemos abordar sobre o crescimento da Indústria 4.0, visando sua evolução e inúmeras aplicações, nos deparamos com um nicho e modelo de negócio em ascensão: o e-commerce. As vendas online estão em alto no mundo inteiro, permitindo que consumidores realizem suas compras de forma remota. Hoje, qualquer pessoa com acesso a dispositivos eletrônicos, como smartphone, tablet ou um computador pode realizar a compra de diversos itens disponíveis na web.

3.1 E-commerce

E-commerce vem de *electronic commerce*, que significa comércio eletrônico, na tradução do inglês. O termo refere-se às transações comerciais realizadas pela internet – via computadores, celulares, tablets e demais dispositivos móveis – e também aos sites de venda de marcas próprias.

Atualmente, é possível vender praticamente qualquer tipo de produto pela internet, incluindo alimentos, automóveis e imóveis, por exemplo. Como resultado, muitas empresas tradicionais do varejo físico estão investindo no e-commerce próprio para reforçar a presença digital, acompanhar as tendências do mercado, diversificar os canais de venda e oferecer ao público soluções mais práticas e tecnológicas.

3.2 Como o e-commerce surgiu?

Por ter a internet como base de suas transações, podemos pensar que o e-commerce surgiu com a popularização do acesso à internet nos anos 2000. Porém, na década de 70, nos Estados Unidos, temos o início desta evolução com a troca de solicitação de pedidos por meio de arquivos. Basicamente, a loja recebia a informação de que o cliente tinha interesse em um produto ou serviço com o compartilhamento de documentos feitos pelo EDI (*Eletronic Data Interchange*).

Em meados dos anos 1979, o inglês Michael Aldrich criou o primeiro shopping online, com transações eletrônicas B2C (*business-to-customer* ou *business-to-consumer*) e B2B (*business-to-business*). A partir de então, o interesse pela novidade passou a se popularizar e, na década de 90, gigantes como Amazon e eBay começaram a investir no e-commerce.

No Brasil, o primeiro e-commerce foi fundado em 1995: o Book Net, de Jack London. Em 1999 a loja foi vendida e renomeada como Submarino. Sim, a marca que conhecemos atualmente e é um grande representante do e-commerce brasileiro.

3.3 Quais as vantagens do e-commerce?

Ter a sua operação em um e-commerce não é mais um “segundo passo” do negócio ou uma opção. É imprescindível estar presente na internet e, muitas vezes, pode ser o início de uma carreira empreendedora. Listamos abaixo 5 vantagens do e-commerce:

1. **Menor custo operacional**: uma operação física tem alto custo fixo, como aluguel, água, luz e segurança. Dependendo do ramo do seu negócio, essa lista fica ainda maior. No e-commerce, é possível começar com um laptop, acesso à internet e alguns produtos ou serviços. E para manter tudo funcionando, há várias opções de ferramentas online e integrações que otimizam o custo e, com certeza, ainda fica muito mais barato que manter um local físico.
2. **Não há restrição geográfica**: com um bom planejamento logístico, não há limites geográficos para a sua operação. É possível vender até onde você quiser, para pessoas do mundo todo, aproximando sua marca dos seus clientes, onde quer que ele esteja.
3. **Funcionamento 24/7**: seus clientes visitando sua loja e olhando os seus produtos todos os dias, a qualquer hora. Uma situação assim é muito difícil no comércio *off-line*. No e-commerce você pode ter sua loja aberta e pronta para realizar vendas, independentemente de dia e horário, sem precisar de grandes investimentos. Seu atendimento pode ser automatizado para cobrir os horários em que você ou seus funcionários não estão online e suas vendas continuam crescendo.
4. **Monitoramento de resultados**: uma das grandes vantagens do e-commerce é ter os dados de compras e dos clientes à sua disposição. Com isso, você pode entender seu consumidor, analisando sua jornada dentro da loja, gatilhos de compra e até carrinhos abandonados. A partir dessas análises, criar uma campanha direcionada para o seu tipo de cliente ou incentivar uma segunda compra fica ainda mais fácil.
5. **Facilidade em chegar ao cliente**: diferente de uma loja de rua ou no shopping, onde é necessário esperar o cliente ir até a sua loja, no e-commerce a sua marca pode ir até o cliente. Os consumidores já estão online e buscam soluções e opções na internet, além da facilidade em criar anúncios para que novos clientes sejam impactados pela sua marca.

Neste sentido, a “Logística 4.0” surge para acompanhar essas vantagens evolutivas, permitindo que as empresas consigam entregas cada vez mais eficientes. Ela é importante para os e-commerces, que dependem da agilidade no envio dos produtos vendidos para os compradores.

Sendo assim, ela é essencial para que os estabelecimentos cresçam e se tornem mais competitivos, garantindo processos de logística interligados, que oferecem agilidade e rapidez.

3.4 O que é a "Logística 4.0"?

Quando um consumidor está buscando, por exemplo, por um compressor de ar comprimido na internet, ele certamente verifica qual é o valor do frete, assim como o prazo de entrega. Além disso, é muito comum que as pessoas efetuem a compra dos itens no cartão de crédito, justamente para tentar diminuir o período de aprovação da compra, como um modo de agilizar o recebimento do item.

A Logística 4.0, alinhada aos avanços tecnológicos da Indústria 4.0 e do mundo corporativo, demanda uma integração aprimorada dos processos organizacionais para garantir competitividade. Com o uso de tecnologias como IoT e Inteligência Artificial (Vazquez, 2024a), busca-se otimizar as operações, tornando-as mais inteligentes e eficientes, conforme critérios que priorizam especificidade, mensurabilidade e realismo no cumprimento das tarefas (Cabral Filho, 2023).

No âmbito do comércio exterior, é importante salientarmos que os *Incoterms* (*Internacional Commercial Terms*) são a base de toda negociação de uma compra e venda internacional. Eles constituem um conjunto de instruções e regras estabelecidas pela Câmara Internacional do Comércio (ICC - *International Chamber of Commerce*), que determinam as responsabilidades sobre frete e seguro de cargas negociadas no comércio exterior. Além de serem essenciais para definir responsabilidades, também podem ser usados como uma estratégia comercial para redução de custos de venda, pois dependendo da condição de venda utilizada pode-se obter uma vantagem competitiva (Vazquez, 2024b).

A "Logística 4.0" foi desenvolvida como um meio de integrar a tecnologia nos processos internos de despacho das mercadorias vendidas por uma empresa, de modo que o tempo entre a compra e o recebimento do produto fosse reduzido, aumentando a agilidade.

4. Questões relacionadas à "Logística 4.0"

Devemos refletir sempre à luz de nossa curiosidade hipotética, inerente ao engenheiro nato, de que a evolução torna as coisas parcialmente conclusivas, sempre, permanecendo dúvidas para diversas indagações, a saber:

- A dependência da tecnologia pela própria tecnologia, traz problemas tecnológicos para os seres humanos?
- A automação pelo método da neurociência (*machine learning*), é um futuro inevitável? Onde isso nos levará? Poderemos perder espaço no contexto de nosso livre-arbítrio, para as máquinas? Fazendo uma referência à obra "2001 - Uma Odisseia no Espaço", idealizado pelo escritor e inventor britânico Arthur Charles Clark (2015); e
- Como a "indústria 4.0 na Logística 4.0", pode trazer melhoria de vida para nossa sociedade, preservando o desenvolvimento harmônico do ser humano, de seu ambiente e de seus valores?

Vivemos o limiar da Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, expressões que traduzem as mudanças ocorridas sob o impacto de tecnologias como Inteligência Artificial, Computação Cognitiva, Realidade Virtual, Internet das Coisas, Computação em Nuvem, *Blockchain*, Veículos Autônomos e 5G - e Quinta Geração de Comunicações Móveis, que torna e mobilidade um fenômeno universal, em que tudo se interliga ou se conecta.

A grande importância da Quarta Revolução Industrial decorre, sobretudo, das radicais transformações que as novas tecnologias têm imposto à vida humana, à economia, à indústria, à agricultura, aos transportes, ao emprego, à educação, ao lazer e às chamadas "cidades inteligentes".

A nova revolução industrial também torna realidade a chama "fábrica inteligente": com estruturas modulares e sistemas cibernéticos que se conectam ao mundo físico, monitoram processos físicos, criam cópias virtuais do mundo material, tomam decisões descentralizadas, comunicam-se e cooperam entre si e com os seres humanos em tempo real.

Esta tendência tecnológica pode também ser aplicada em automóveis (veículos autônomos e aumento de tecnologias embarcadas), residências (automação, comunicação e segurança), escritórios (segurança, energia e sustentabilidade), varejo (*check outs* inteligentes), operações *off shore* (aumento no monitoramento via automação), saúde (monitoramento e análises), logística (rotas autônomas e inteligentes), planejamento de cidades (saúde pública e transportes), além da sua utilização em processos produtivos.

A utilização da Indústria 4.0 no ambiente fabril se dá por meio de instalações inteligentes (*smart factories*), sendo estas capazes de aprender e tomar decisões, tornando-se flexíveis em tempo real. Essa adaptação é realizada por uma comunicação instantânea entre máquinas (*machine to machine* – M2M), processos, linhas de montagem e até mesmo unidades fabris, utilizando um ambiente (computadores) que permita a junção das realidades física e virtual para cada microoperação (denominados *Cyber Physical Systems* – CPS) e uma rede dedicada a esta operação.

Esta rede dedicada à comunicação M2M é conhecida como Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), permitindo também a coleta de dados de todos os equipamentos embarcados conectados, tornando possível a interação e tomada de decisão pelas então denominadas "Coisas". A IoT é a base da Indústria 4.0 e define um novo horizonte de valor na cadeia produtiva em função da grande quantidade de dados coletados, tratados e utilizados na tomada de decisão online entre os sistemas, permitindo a criação de novos serviços por novos canais de distribuição.

Portanto, a descrição acima parece satisfazer a uma das indagações, por exemplo, como podemos integrar linhas autônomas, para funcionamento em conjunto, de modo que sua aplicação seja viável no contexto da "indústria 4.0 na logística 4.0"?

4.1 Veículos autônomos

Muitos países já se preparam para a utilização de veículos autônomos para a entrega das suas mercadorias. Eles funcionam interligados a uma central, e não dependem da presença de um motorista para o seu deslocamento. Apesar de ser uma tendência mais vista no exterior, ela é tida como um dos grandes acontecimentos previstos para a "Logística 4.0".

Os veículos autônomos são uma inovação no transporte inteligente, operando com pouca intervenção humana. A implementação eficaz dessas tecnologias na logística pode gerar uma vantagem competitiva. No planejamento logístico, a escolha de um veículo ideal e confiável torna-se um desafio, configurando-se como um problema de tomada de decisão multicritério – MCDM (Bonab et al., 2023).

4.2 Prateleiras inteligentes

Assim como os veículos autônomos, que representam uma inovação significativa na logística, o uso de sensores e de

softwares que enviem informações em tempo real para os gestores de um e-commerce pode ser responsável por outra tendência importante para a logística, que é o abastecimento do estoque com o auxílio de prateleiras inteligentes. Ao identificar uma determinada quantidade de produtos, o sistema é informado com um prazo adequado para a reposição dos itens, garantindo que não falte nenhum artigo.

Recentemente, prateleiras inteligentes habilitadas para identificação por radiofrequência (RFID) atraíram enorme atenção da indústria e da academia. Os varejistas estão cada vez mais interessados em implantar essas prateleiras para pedidos automáticos e para reduzir a imprecisão do estoque. Um estudo de Zhu et al. (2018) explora a política ideal dos varejistas para investir em um sistema de controle de estoque de prateleira inteligente, considerando a atitude de risco dos tomadores de decisão e sua influência nesse investimento. A pesquisa fornece insights gerenciais valiosos, destacando as condições sob as quais os varejistas devem investir em prateleiras inteligentes, além de analisar a relação entre a atitude de risco e a política ideal de investimento.

5. Logística 4.0: integração e benefícios no e-commerce

Organizar uma empresa para que ela atue de modo praticamente autônomo é uma das grandes apostas da "Logística 4.0", que vai auxiliar um e-commerce que venda móveis de fibra sintética do mesmo modo que será importante para uma papelaria virtual.

Nesse sentido, a "Logística 4.0" busca se integrar nos mais diversos segmentos, criando uma cadeia de processos que podem beneficiar diferentes empresas ao mesmo tempo, dispensando a necessidade de possuir grandes estoques e diminuindo o prazo de entrega.

Para um e-commerce, a conectividade é fundamental. Por isso, esse modelo de negócio é um dos mais receptivos à implementação da "Logística 4.0", que depende da interligação de vários setores para uma atuação completa e dinâmica.

Entre os principais benefícios da "Logística 4.0", podemos mencionar:

- Satisfação dos clientes;
- Controle de estoque;
- Melhora na estratégia organizacional;
- Redução das perdas;
- Coleta de dados importantes;
- Entre outros fatores.

A importância de se adotar a "Logística 4.0" em um e-commerce pode ser vista nas vantagens adquiridas para o funcionamento do negócio.

Isso, porque apesar de parecer que a entrega rápida pode ser um benefício apenas para o comprador, ela é essencial para as empresas, que ganham a confiança do seu público e conseguem fazer um giro de estoque muito mais eficiente, melhorando o faturamento.

Considerando a temática sobre o histórico da indústria no Brasil e no mundo, podemos perceber que alguns fatos ocorridos ao longo do tempo contribuíram para a consolidação de novos sistemas de produção e de suas tecnologias. A Revolução Industrial, por exemplo, foi um grande acontecimento no contexto da industrialização. Compreender esses fatos é de extrema importância para podermos criar a linha do tempo e associar cada fase às suas novidades.

Nesse contexto, observaram-se três diretrizes que abriram o caminho para a modernização da indústria contemporânea, tais como: a produção automática do tipo fluxo nas indústrias de manufatura; o controle automático da produção contínua em indústrias de processo; e o aumento da eficiência empresarial por meio de computadores.

6. Discussão e Análise do Tema

6.1. Indústria 4.0, contexto histórico

Por enquanto, o que vemos ao nosso redor é apenas e ponta do iceberg diante do que poderá ser essa Indústria 4.0 em menos de cinco anos, no contexto da maior revolução econômica, tecnológica e social já experimentada pela humanidade.

E tudo acontece numa velocidade impensável. O melhor exemplo é o que ocorreu com a expansão em escala global da internet. Ao nascer, em 1990, essa rede não interligava mais que uma centena de cientistas, em Genebra. Em três décadas, ela já conecta quatro bilhões de seres humanos.

Hoje, mais de um terço da população mundial já utiliza *smartphones* capazes de armazenar até centenas de gigabytes de música ou de fotos, com acesso a TV, rádio, internet de alta velocidade e aplicativos.

O primeiro celular no Brasil, em meados de 1993, era um "tijolão", analógico e pesado. E pior: só me permitia falar. Com a evolução da tecnologia digital, ele se transformou no *smartphone*, com centenas de novas funções e serviços, e - creiam - com poder de processamento superior ao de todos os computadores da NASA, que levaram o homem à Lua, em 1969.

Para se ter uma ideia, atualmente na área da saúde, já surgem avanços como o Tricorder X (o mesmo nome daquele aparelho de "Guerra nas Estrelas"), capaz de escanear a retina do paciente, testar amostras de seu sangue e analisar sua respiração (como um bafômetro avançado) para fornecer indicadores que identificam praticamente qualquer doença.

Conforme ilustrado na **Fig. 2**, podemos relembrar as características das três revoluções industriais:

- A Primeira Revolução Industrial nasce em 1760 com a máquina a vapor e o carvão como fonte de energia.
- A Segunda começa por volta de 1860 e passa a utilizar o petróleo e a eletricidade como maiores fontes de energia.
- A Terceira tem início no século 20 e vem até os nossos dias, com a eletrônica, o computador, as comunicações, os satélites, os robôs, e a tecnologia da informação, entre outros avanços.

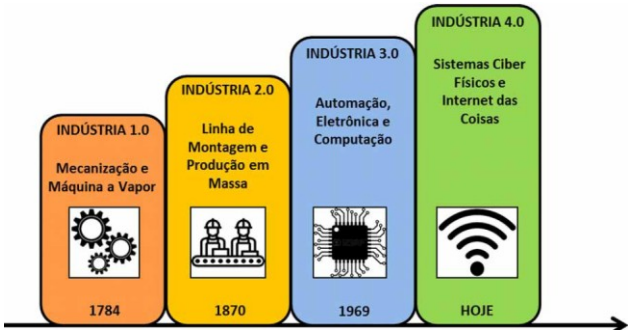

Fig. 2 Linha do Tempo sobre a Revolução Industrial. Fonte: Revista Unesp Ciência, São Paulo, 02/2018

A primeira revolução industrial: ocorrida no final do século XVIII, marcou a mudança do modelo agrário e artesanal pela introdução da máquina a vapor, com emprego de carvão e metais.

A segunda revolução industrial: ocorrida no final do século XIX, foi caracterizada pelo desenvolvimento de pequenos sistemas com o advento da eletricidade e do motor de combustão interna e fundições, aliado à utilização de produtos químicos.

A terceira revolução industrial: marcou o início da utilização dos computadores e automação, sendo iniciada no final dos anos 1960 e perdurando até os dias atuais, com o emprego de novos materiais, como a fibra óptica.

A transição: vale ressaltar que cada uma das três revoluções industriais foi reconhecida ou durante ou após o seu início. A Indústria 4.0, por sua vez, está sendo desenvolvida em grande parte antes da sua efetivação, uma vez que representa um conjunto de inovações fundamentadas em aumentar a produtividade das nações e organizações.

A quarta revolução industrial: atualmente, observamos que alguns países que se destacam pelo pioneirismo, como: Alemanha, China, Japão e Estados Unidos, na busca de estruturas de fomentos governamentais para suportar esta revolução.

6.2. Inovação, eficiência e customização

6.2.1 O futuro é a integração

Com este conceito, além da integração horizontal e vertical de processos, é possível derivar a utilização de algumas novas tecnologias a serviço da eficiência operacional, como o *big data*, a nuvem (com aplicação industrial orientada aos dados gerados e tratados dos equipamentos), a realidade aumentada e a simulação, bem como abre espaço para novas discussões de segurança da informação nestes novos ambientes. Ela também cria espaço para a introdução de tecnologias disruptivas (aquelas que atendem às exigências dos clientes de uma forma totalmente nova, não caracterizadas por evolução ou revolução) no setor industrial, como os robôs colaborativos, inovação que permite o trabalho simultâneo e no mesmo posto de trabalho entre pessoas e robôs, sem a necessidade de confinamentos e com o objetivo de aumento de produtividade em operações com riscos ergonômicos e de difícil repetibilidade, conforme ilustrado na **Fig. 3**.

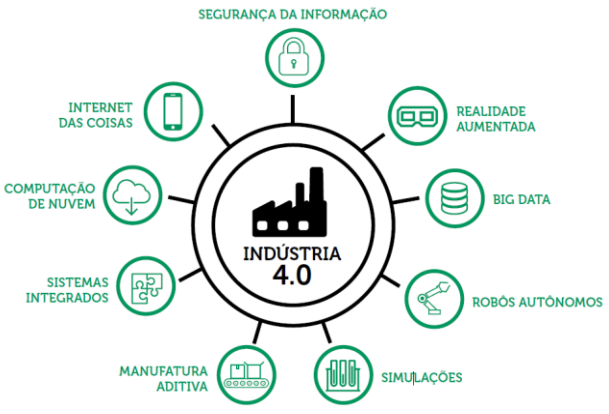

Fig. 3 Esquema gráfico ilustrando a integração entre Indústria 4.0. Fonte: Revista Unesp Ciência, São Paulo, 02/2018

O termo *big data* é utilizado para descrever o imenso volume de dados que possuem impacto nas operações do dia a dia. Trata-se de um conceito estruturado no início dos anos 2000, apesar de a leitura e armazenamento dos dados já ter sido iniciada previamente. Este conceito pode ser utilizado para tratar os dados, a fim de fomentar melhores decisões operacionais e estratégicas, de forma estruturada, para as organizações. O *big data* pode ser definido utilizando-se cinco dimensões:

1. **Volume**: coleta de dados de variadas fontes, como aqueles oriundos de sensores destinados a realizar a comunicação M2M ou até mesmo transações comerciais;
2. **Velocidade**: os dados são transmitidos e estão disponíveis em tempo real a partir de uso de smartphones, sensores, etiquetas inteligentes dotadas de identificação por radiofrequência (*radio frequency identification* – RFID);
3. **Variedade**: a geração de dados é realizada em formatos diferenciados, englobando bancos de dados complexos, documentos e vídeo, por exemplo;
4. **Variabilidade**: com o aumento da velocidade e da variedade, a ocorrência de picos de demanda é cada vez mais frequente. Um bom exemplo se refere a notícias ou informações geradas pelas redes sociais e que podem apresentar grande acesso pontual dependendo do conteúdo vinculado;
5. **Complexidade**: a geração de dados é realizada de fontes variadas, dificultando a estruturação e a criação de relações, necessárias para o seu correto tratamento.

Além do *big data*, as tecnologias-base mapeadas no escopo da Indústria 4.0 podem ser sumarizadas em: robôs colaborativos (capazes de operar em células de produção junto com operadores sem a necessidade de barreiras físicas), manufatura aditiva (produção de peças com impressoras tridimensionais com a adição de matéria-prima e sem a necessidade de moldes), simulação (teste e otimização de processos em fase de concepção ou existentes com ferramentas digitais), segurança (aumento da confiança em meios digitais) e realidade aumentada (capacidade de capturar imagens e projetá-las tridimensionalmente, além de sistemas capazes de interagir em tarefas múltiplas com o mundo físico).

Todo este conjunto de inovações possui também o potencial de impactar as tecnologias do cotidiano e muitas delas já estão em funcionamento. A forma com que as pessoas se deslocam está prestes a se transformar de forma revolucionária. Não somente os automóveis estão sofrendo uma forte transformação tecnológica, mas também a infraestrutura e a gerência do sistema.

6.2.2 Internet of Things (IoT) ou Internet das Coisas

A proliferação de objetos inteligentes com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação tem aumentado nos últimos anos. Neste cenário, a Internet das Coisas (Internet of Things (IoT)) conecta estes objetos à Internet e promove a comunicação entre usuários e dispositivos. A IoT possibilita uma grande quantidade de novas aplicações, as quais tanto a academia quanto a indústria podem se beneficiar, tais como cidades inteligentes, saúde e automação de ambientes.

A Internet das Coisas, em poucas palavras, nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo, permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Estas novas habilidades, dos objetos comuns, geram um grande número de oportunidades tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial.

Ao utilizar a palavra “Internet" no termo “*Internet of Things*" como acima mencionado, pode-se fazer uma analogia com a Web nos dias de hoje, em que brevemente as “coisas" terão habilidades de comunicação umas com as outras, proverão e usarão serviços, proverão dados e poderão reagir a eventos. Outra analogia, agora mais técnica, é que IoT vista como uma pilha de protocolos utilizados nos objetos inteligentes.

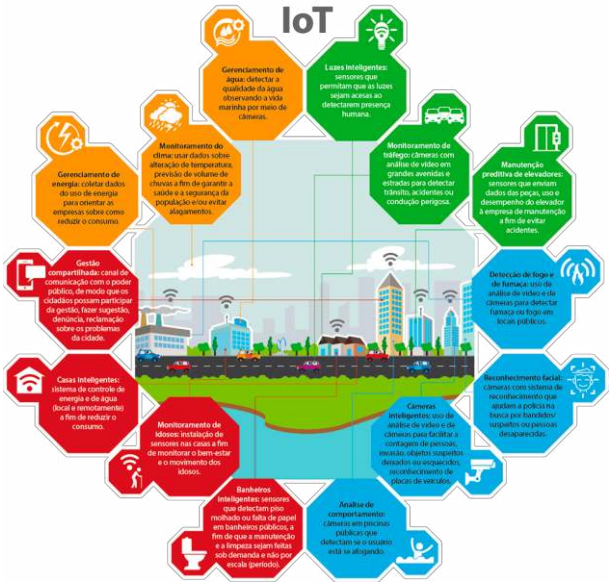

Fig. 4 Integração entre IoT. Fonte: Santos et al. (2016) - Cidades Inteligentes / Evento: SBRC - 2016

Ao conectar objetos com diferentes recursos a uma rede, potencializa-se o surgimento de novas aplicações (vide **Fig. 4**). Neste sentido, conectar esses objetos à Internet significa criar a Internet das Coisas. Na IoT, os objetos podem prover comunicação entre usuários, dispositivos. Com isto emerge uma nova gama de aplicações, tais como coleta de dados de pacientes e monitoramento de idosos, sensoriamento de ambientes de difícil acesso e inóspitos, entre outras. Neste cenário, a possibilidade de novas aplicações é crescente, mas temos novos desafios de conectar à Internet objetos com restrições de processamento, memória, comunicação e energia.

Interoperabilidade: capacidade dos sistemas ciber-físicos (suportes de peças, postos de reunião e produtos), humanos e fábricas inteligentes, comunicar-se uns com os outros por intermédio da IoT – Internet of Things (Internet das Coisas) e da Internet.

Orientação de Serviços: utilização de arquiteturas de software orientadas a serviços aliado ao conceito de IoS - Internet of Services (Internet dos Serviços), é o atrelamento de serviços à IoT gerando serviços intrinsecamente ligados a ela.

6.3. Machine learning, inteligência artificial e automação na indústria 4.0

Na IoT, eventualmente, a unidade básica de hardware apresentará ao menos uma das seguintes características:

i) unidade(s) de processamento;

ii) unidade(s) de memória;

iii) unidade(s) de comunicação, e

iv) unidade(s) de sensor(es) ou atuador(es). Aos dispositivos com essas qualidades é dado o nome de objetos inteligentes (*Smart Objects*). Os objetos, ao estabelecerem comunicação com outros dispositivos, manifestam o conceito de estarem em rede.

A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. Apresentamos na sequência, os blocos básicos de construção da IoT:

- **Identificação:** é um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como *RFID*, *NFC* (*Near Field Communication*) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.
- **Sensores/Atuadores:** sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para data *warehouse*, *clouds* ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.
- **Comunicação:** diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e *RFID*.
- **Computação:** inclui a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e FPGAs (ou field-programmable gate array (ou ainda matriz de portas programáveis), responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.
- **Serviços:** a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se:
  - *Serviços de Identificação*, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta;
  - *Serviços de Agregação de Dados* que coletam e sumarizam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes;
  - *Serviços de Colaboração e Inteligência* que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e
  - *Serviços de Ubiquidade* que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.
- **Semântica**: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL) e Efficient XML Interchange (EXI).

As máquinas podem aprender igual a nós, humanos? A resposta é: sim. Essas técnicas são capazes de criar, por si próprias, a partir de experiências passadas, uma hipótese ou função capaz de resolver um problema. Essa hipótese pode ser constituída por um conjunto de regras, que forma um processo de indução por meio de dados passados. Esse processo é denominado de aprendizado máquina (AM) por indução de hipóteses. Elencamos algumas ferramentas para viabilizar tal aprendizado:

- **Inteligência Artificial (IA**): uma solução de IA envolve um agrupamento de várias tecnologias, como redes neurais artificiais, algoritmos, sistemas de aprendizado, entre outros que conseguem simular capacidades humanas ligadas à inteligência. Por exemplo, o raciocínio, a percepção de ambiente e a habilidade de análise para a tomada de decisão.

  Depreende-se que a Inteligência artificial se refere a qualquer técnica que permita que computadores mimetizem a inteligência humana, através de lógica, função se/então (*if-then*), árvores de decisão e aprendizado de máquina (incluindo aprendizado profundo) entre outras técnicas. Essa tecnologia tem avançado em ritmo acelerado demonstrando capacidade das máquinas em lidar com tarefas difíceis através do processamento de grandes conjuntos de dados. Para isso, a pesquisa de IA pode utilizar ferramentas de campos diversos, incluindo ciência da computação, psicologia, probabilidade, neurociência, ciência cognitiva, linguística, pesquisa operacional, economia, teoria de controle, filosofia, otimização e lógica.

  Podemos dizer que o conceito de IA está relacionado à capacidade de soluções tecnológicas realizarem atividades de um modo considerado inteligente. IAs também podem "aprender por si mesmas" graças a sistemas de aprendizado que analisam grandes volumes de dados, possibilitando a elas ampliarem seus conhecimentos.
- **Auto-Aprendizagem (Machine Learning)**: é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana.

  O Aprendizado de máquina utiliza modelos matemáticos para extrair conhecimento e padrões a partir de dados. A adoção de tecnologias associadas ao aprendizado de máquina tem aumentado tendo em vista que as organizações encontram cada vez mais um crescimento exponencial do volume de dados associado aos avanços na área de infraestrutura computacional. Um número cada vez maior de organizações adota tecnologias relacionadas à inteligência artificial. Segundo a Gartner, empresa que atua ramo de pesquisas, consultorias, eventos e prospecções relacionados ao mercado de Tecnologia da Informação (TI), entre 2018 e 2019, o número de organizações que usava a Inteligência Artificial cresceu de 4% para 14%.
- **Aprendizagem Profunda (Deep Learning)**: é um tipo de machine learning que treina computadores para realizar tarefas como seres humanos, o que inclui reconhecimento de fala, identificação de imagem e previsões. Em vez de organizar os dados para serem executados através de equações predefinidas, o deep learning configura parâmetros básicos sobre os dados

e treina o computador para aprender sozinho através do reconhecimento padrões em várias camadas de processamento.

Deep learning é uma das bases da inteligência artificial (IA), e o interesse atual em *deep learning* se deve, em parte, à fascinação por IA. Técnicas de *deep learning* têm aprimorado a capacidade dos computadores em classificar, reconhecer, detectar e descrever – em uma palavra, compreender.

A nova abordagem com *deep learning* consiste em substituir a formulação e a especificação do modelo por caracterizações hierárquicas (ou camadas) que aprendem a reconhecer as características latentes dos dados nas regularidades em camadas.

A promessa do *deep learning* é concretizar sistemas preditivos que se difundem e se adaptam bem, melhoram continuamente à medida que novos dados são adicionados e são mais dinâmicos do que sistemas preditivos baseados em regras de negócios. Você não mais adapta um modelo, você o treina.

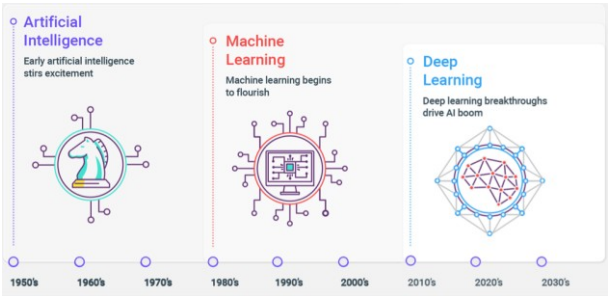

Fig. 5 Linha do tempo com a evolução das tecnologias desde a inteligência artificial até o deep learning Fonte: Data-Driven Science (2022)

A evolução das tecnologias ilustradas na **Fig. 5** compreende:

- ✓ *early artificial intelligence stirs excitement*: a inteligência artificial precoce desperta entusiasmo;
- ✓ *machine learning begins to flourish*: o aprendizado da máquina começa a florescer;
- ✓ *deep learning breakthroughs drive AI* boom: avanços no aprendizado profundo impulsionam o boom da IA

- **Multicloud & Nuvem Híbrida**: se refere à presença de mais de uma implantação de nuvem do mesmo tipo (pública ou privada), originada de diferentes fornecedores. A nuvem híbrida se refere à presença de vários tipos de implantação (pública ou privada) com alguma forma de integração ou orquestração entre elas.

A computação em nuvem é uma tecnologia que vem sendo cada vez mais usada por usuários comuns e empresas para as mais diversas tarefas. Esse tipo de serviço oferece grandes vantagens, além de apresentar um ótimo custo-benefício. Com a evolução dos serviços em nuvem, novos conceitos começaram a surgir, como o *Multicloud*. Hoje em dia, trata-se de uma tendência em franco crescimento.

Uma estratégia *Multicloud* é aquela que lança mão da utilização de ao menos dois ambientes de nuvem simultaneamente. Se o recurso começou como uma forma de trazer confiança para as nuvens utilizadas por empresas, hoje em dia elas não são mais os únicos beneficiários desse sistema. O primeiro objetivo da estrutura é de contornar os problemas que resultam em perda de dados e *downtime*, muito comuns nas nuvens mais antigas. Hoje em dia, o *Multicloud* continua atendendo a esse tipo de situação, mas também traz uma série de outras vantagens sobre o serviço simplificado da nuvem.

A comparação do *Multicloud* com o sistema de *nuvem híbrida* é natural e pode gerar algumas confusões. Enquanto o *Multicloud* se refere à administração de serviços em nuvens de múltiplos parceiros, sem a exigência de interconexão entre as funções do sistema, a *nuvem híbrida* requer essa interdependência. Afinal, a estrutura de *nuvens híbridas* funciona como uma combinação de serviços de nuvem privada e pública, de modo que ambas estão integradas e interconectadas. Somente dessa forma o serviço consegue funcionar corretamente.

E segundo uma pesquisa da *Gartner*, a computação *Multicloud* tende a reduzir o risco de aprisionamento tecnológico, ampliando as possibilidades de migração, com maior elasticidade e escalabilidade.

6.4. A fábrica inteligente: PID & CLP

Para compreender a correlação entre PID (algoritmo Proporcional, Integral e Derivativo) e CLP (Controlador Lógico Programável), primeiramente é necessário entendermos algumas definições sobre controle de processos. Todos esses instrumentos, equipamentos e redes, fazem um processo industrial funcionar. Mas esses equipamentos por si só não fazem muito efeito.

O controle de processo então vem para juntar esses equipamentos de forma a colocá-los em ordem para que o processo flua e no final, traga o resultado desejado. Para podermos entender melhor sobre controle de processo e depois entrar no PID, precisamos entender algumas definições:

O que é o controle PID? O PID (algoritmo Proporcional, Integral e Derivativo) é um sistema de controle proporcional com ação integral e derivativa. Esse sistema ainda é o mais eficiente sistema de controle na atualidade. Veremos as ações P, I e D separadamente, e ficará mais fácil para compreender o controle PID.

O Controle Proporcional (ou controlador P), trabalha sempre em cima do erro do sistema, ou seja, ele irá variar conforme o erro e não trabalhará com tempo.

Características do controlador proporcional (P):

- ✓ Atua no regime transitório e regime permanente do sistema. Isto é, ele tem efeito quando o sistema sai do ponto de partida e vai até o valor desejado (transitório) e também quando o sistema apresenta pouca ou nenhuma variação (regime permanente).
- ✓ Entretanto, ele tem mais efeito no regime transitório, pois, é comum que o regime permanente apresente um erro pequeno.
- ✓ O controle P não garante erro 0 no regime permanente.
- ✓ Na prática, isto quer dizer que, se o sistema apresentar algum distúrbio, o controlador P não é capaz de levar o erro a 0.
- ✓ Aumentar o ganho P, normalmente, deixa a resposta do sistema mais rápida e diminui o erro, mas aumentar demais pode deixar o sistema instável por forçar o sistema a trabalhar em saturação (atua apenas em nível máximo ou mínimo).

Em resumo, na ação proporcional, a ação é proporcional ao erro.

O Controle Integral (ou controlador I): na ação integral, a velocidade da correção que é proporcional ao erro. Iremos trabalhar com tempo de forma direta, o que não existia na ação proporcional que vimos anteriormente.

A ação integral é usada juntamente com a ação proporcional na prática. A razão é que a ação integral isolada fornece uma velocidade de resposta pequena.

Características do controlador integral (I):

- ✓ Atua no regime transitório e regime permanente do sistema.
- ✓ Entretanto, ele tem mais efeito no regime permanente, pois o erro vai sendo acumulado infinitamente.
- ✓ O controle I garante erro 0 no regime permanente.
- ✓ Na prática, isso quer dizer que o controlador I é capaz de levar o erro a 0 mesmo se o sistema apresentar algum distúrbio.
- ✓ Não é necessariamente verdade em sistemas instáveis (como é o caso das simulações feitas).
- ✓ Deixa o sistema mais lento e oscilatório.
- ✓ O erro pode demorar a acumular ou "desacumular", gerando um atraso na resposta do sistema. Também podem aparecer oscilações na resposta mesmo se o sistema for estável.
- ✓ Aumentar o ganho I, normalmente, deixa a resposta do sistema mais rápida, mas aumentar demais pode deixar o sistema mais oscilatório por gerar um erro acumulado maior e possivelmente levar o sistema a saturação.

Em resumo, é um tipo de controlador que atua na variável controlada a partir do erro acumulado. Isto é, o erro vai sendo somado (por isso o nome integral) e o controlador usa essa soma para atuar no sistema.

Controlador derivativo (ou controlador D): é um tipo de controlador que atua na variável controlada a partir da variação do erro (por isso o nome derivativo). Isto é, ele considera a diferença entre o erro atual e o erro anterior.

Como ele considera a diferença, se ocorrer dela ser 0 (por acaso), o controlador não produzirá nenhum efeito na variável controlada. Isso pode acontecer antes do sistema chegar no ponto desejado, o que faz o sistema "estagnar" e o erro em regime permanente fica bem diferente de 0.

Características do controlador derivativo (D):

- ✓ Atua apenas no regime transitório do sistema.
- ✓ Isso, porque o regime permanente pressupõe pouca ou nenhuma variação.
- ✓ Não garante erro 0 no regime permanente.
- ✓ Na prática, isso quer dizer que o controlador D não é capaz de levar o erro a 0 se o sistema apresentar algum distúrbio.
- ✓ Dependendo do sistema, o controle derivativo pode melhorar a estabilidade (o caso dos testes realizados).
- ✓ Aumentar o ganho D, normalmente, deixa a resposta do sistema mais rápida, mas um aumento excessivo pode deixar o sistema oscilatório.

Em resumo, essa ação nunca ocorrerá sozinha. Ela sempre irá trabalhar com a ação proporcional, devido ao fato de não ser possível a ação isolada.

Controlador proporcional integral derivativo (ou controlador PID): o controlador PID combina o melhor dos três mundos: P, I e D em um só.

Características do controlador PID (Fig. 6):

- ✓ Atua efetivamente no regime transitório (por conta do P e D) e no regime permanente (por conta do I).
- ✓ Garante erro 0 no regime permanente (por conta do I).
- ✓ Pode melhorar a estabilidade do sistema (por conta do D).
- ✓ A resposta do sistema é mais lenta que no PD (por conta do I).
- ✓ O aumento do ganho D pode gerar uma resposta inicial mais rápida, mas deixa o período de transição total mais lento.
- ✓ Aumentar o ganho I pode deixar a resposta mais rápida, mas também mais oscilatória.

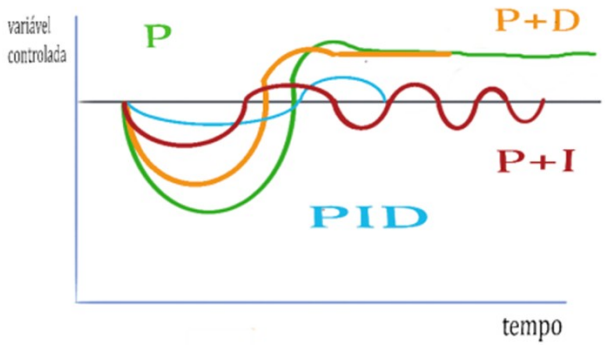

Fig. 6 Representação gráfica do controle PID. Fonte: Barreto (2019).

Aplicação do PID no Contexto Industrial: o controle proporcional é utilizado para minimizar a característica de oscilação do controle de ligar/desligar. O Controle PID vai um pouco além para reduzir erros e fornecer precisão e estabilidade em um processo. Ele faz isso usando a ação integral e ações derivativas. Dessa forma elimina erros de desvio de controle e para gerenciar movimentos rápidos do processo. Todos os três termos PID precisam ser ajustados adequadamente com os requisitos da aplicação para alcançar o melhor controle.

Para um alto nível de controle, os controladores digitais PID são frequentemente usados. Estes normalmente vêm na forma de Controladores de Temperatura PID ou Controladores de Processo PID e podem ser instrumentos simples, duplos ou multi-loop.

O Controle PID é usado para uma variedade de variáveis de processo, tais como; Temperatura, Fluxo e Pressão. Tipicamente, aplicações desafiadoras, tais como processos industriais de tratamento térmico, fornos e fornos usam controladores PID, bem como no setor científico e de laboratório, onde precisão e confiabilidade são essenciais para a qualidade de uma aplicação de controle.

O que é CLP? O CLP (Controlador Lógico Programável) é um equipamento de controle industrial que possui hardware e software ajustados para melhorar o desempenho de atividades industriais, automatizando, controlando e monitorando máquinas, processos específicos ou linhas de produção.

Se fizermos uma analogia com o corpo humano, ele poderia ser comparado ao cérebro, devido a sua importância na automação (principalmente no meio industrial). Porém, é preciso deixar claro que o controlador lógico programável não pode fazer muita coisa sozinho.

O controlador precisa de informações externas que serão recebidas pelas suas entradas. Além das entradas, ele precisa das máquinas nas quais serão controladas (os chamados atuadores).

Da mesma forma que, no corpo humano, o cérebro é extremamente importante, mas precisa do corpo para atuar.

Um pouco sobre a história do CLP: O Controlador Lógico Programável foi criado inicialmente para a indústria automobilística no fim da década de 1960, nos Estados Unidos. Ele surgiu para substituir os painéis de relés e controlar os sensores e atuadores por meio de uma programação pré-definida. Seu maior objetivo era sanar a dor relativa às produções de grande porte e necessidades distintas.

Exemplo de Automação de processos industriais: o controlador pode ser utilizado em linhas de produção como as de montagem, em indústrias automobilísticas, construção civil, automação predial, farmacêuticas e gráficas.

Isso porque ele é utilizado para comandar e monitorar vários tipos de máquinas, funcionam recebendo informações de sensores e dispositivos, processando dados e controlando atuadores e dispositivos conforme foi programado, O CLP pode registrar os dados em tempo real, como: temperatura de operação, produtividade e até iniciar e interromper um processo.

No passado, antes da automatização dos processos ser possível, a operação das máquinas era feita de forma manual e, muitas vezes, indireta. Máquinas mais simples dependiam de uma quantidade muito grande de botões e relés que acionavam outras máquinas e dispositivos para realizar um comando simples — e isso tudo operado de maneira humana.

Além de exaustivo para o operador, isso era ineficiente de um ponto de vista industrial. Uma falha em uma das máquinas era capaz de comprometer todo o sistema e, consequentemente, a produção.

A introdução dos Controladores Lógicos Programáveis resumiu todo esse processo exaustivo e codependente a um único comando de programação. Um único sinal direto do sistema é suficiente para realizar uma ação, simplificando o processo de automação.

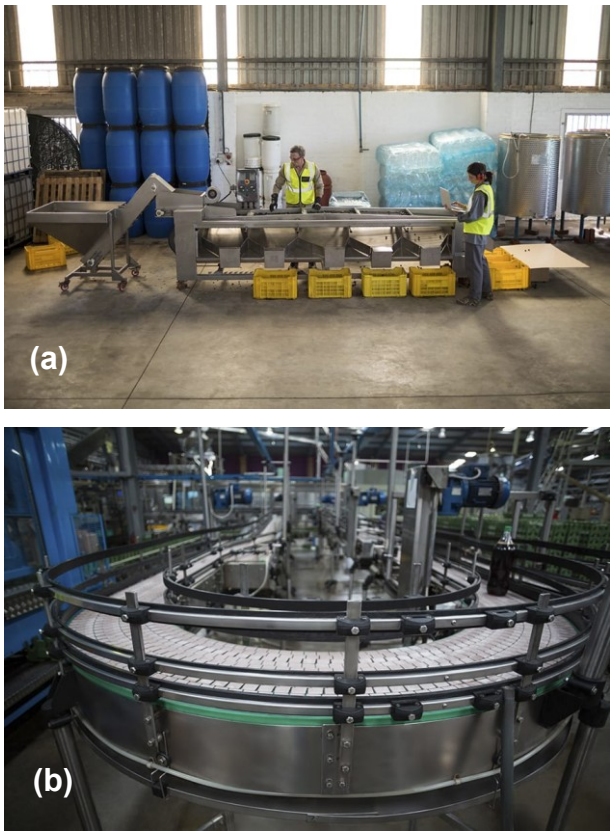

Fig. 7 Representação de linha de produção em metodologia manual ou semiautomática (a) versus metodologia baseada em automação de processos (b). Fonte: Tünkers do Brasil (2020)

Aplicação do CLP no Contexto Industrial: é ele que fará todo o comando das máquinas, como por exemplo, emitir o sinal para alguma máquina parar ou funcionar. Além disso, também recebe as informações dos sensores e equipamentos e decide como responder aos sinais recebidos (**Fig. 7**).

O CLP é projetado para atuar em diversos ambientes de uma indústria, suportando sujeira e poeira, altas temperaturas, ruídos e vibrações. Além disso, o equipamento é bastante flexível e possibilita interface com outros dispositivos.

Outro ponto importante de destacar é que o CLP conta também com versões virtuais de teste e avaliação, onde os programas podem ser testados, validados e corrigidos, poupando tempo e otimizando o processo de produção.

6.4.1. Como funciona um Controlador Lógico Programável?

De forma bem sucinta, o CLP irá ler seus módulos de entradas (equipamentos que enviam sinais elétricos para ele, como sensores, chaves de nível, botoeiras etc.). O CLP é composto basicamente por 3 partes: as entradas, as saídas e o dispositivo de programação. Desse modo, entendendo como cada uma dessas partes funciona, fica fácil compreender como o CLP trabalha.

- ✓ **ENTRADAS**: as entradas são as responsáveis por receberem os sinais do equipamento, sejam eles analógicos ou digitais:
  - **ENTRADAS ANALÓGICAS**: São as responsáveis por receberem as referências analógicas do equipamento, por exemplo, variação de temperatura (vinda através de um termopar) ou pressão (através do pressostato).
  - **ENTRADAS DIGITAIS**: São as responsáveis por receberem sinais de forma binária. Ou seja, cada entrada digital entende apenas dois estados (0 ou 1). Por exemplo, se uma botoeira está acionada ou não ou se uma válvula está aberta ou fechada, o sinal digital recebido é sempre 0 ou 1.

- ✓ **SAÍDAS**: as saídas do CLP são responsáveis por receberem as ordens enviadas pela CPU. Essas ordens são resultantes do processamento dos sinais recebidos. Dessa forma, os cartões de saída acionam as cargas de acordo com o que foi determinado no programa do CLP. Assim como as entradas, as saídas também podem ser analógicas ou digitais:
  - **SAÍDAS ANALÓGICAS**: Disponibilizam sinais variáveis para um determinado controle ou acionamento. Por exemplo, para controlar a velocidade de um motor elétrico, é ela quem disponibiliza o sinal responsável por enviar uma instrução para o inversor de frequência.
  - **SAÍDAS DIGITAIS**: Podem ser de dois tipos: relé ou transistor. Ambos trabalham sempre de maneira binária, ou seja, com apenas dois estados lógicos (exemplo: ligado ou desligado). Dessa forma, realiza o "comando" a partir dos estados 0 ou 1, acionando ou desligando, por exemplo, uma bobina de um relé ou um sinaleiro.

- ✓ **DISPOSITIVO DE PROGRAMAÇÃO**: é o cérebro do CLP, já que é o responsável por receber a informação e determinar o que será feito. Atua lendo os valores lógicos presentes nas entradas, em seguida executa as instruções do programa e transfere as ordens provenientes dessas instruções para as saídas.
  - Tal qual um computador comum, possui duas partes fundamentais: o processador e a memória.
  - O processador tem como função executar a ação programada pelo usuário. Além disso, gerencia a comunicação e execução dos programas de autodiagnóstico.
  - Atualmente, alguns CLPs utilizam mais de um processador. Dessa forma, conseguem dividir tarefas e, consequentemente, ganhar maior velocidade de processamento e facilidade de programação.
  - Assim como um computador, para funcionar, o CLP precisa de um sistema operacional e um software (programa).
  - O programa é inserido na memória do processador através do dispositivo de programação. Por essa razão, esta parte do CLP também é muito importante para a programação e manutenção em campo. Além disso, ela é um dos principais pontos de atenção durante o retrofit (processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma).

Em resumo, ele processa todas as informações, seguindo o comando da programação e, então, envia ou bloqueia os sinais elétricos, atuando nos devidos módulos de saída (onde se encontra os atuadores, como por exemplo, lâmpadas, contatores, solenoides, entre outros).

Quais são as vantagens do CLP em uma linha de produção?

- ✓ São programáveis, permitindo alterar os parâmetros de controle;
- ✓ Representam menor custo para circuitos complexos;
- ✓ Apresentam interface de comunicação com outros CLPs e computadores de controle;
- ✓ Produção eficiente;
- ✓ Monitoramento on-line, permitindo o acompanhamento dos processos em tempo real;
- ✓ Manutenção com o próprio CLP indicando a existência de erros;

6.4.1.1. CLP E IIOT (Internet Industrial das Coisas)

Atualmente, existem dispositivos inteligentes com tecnologia embarcada para IIoT (Internet Industrial das Coisas). Existem opções compatíveis com todos os protocolos de rede de campo e padrões ethernet.



Fig. 8 CLP típico, modelo compactos e estreitos de fabricação da Delta Electronics. Fonte: Delta Electronics (2022)

Ambas as soluções CLP e PID integradas, resultam numa gestão proporcional, que é utilizado para minimizar a característica de oscilação do comando de ligar e desligar. O mecanismo inteligente de movimentos rápidos do processo, reduz possíveis falhas desvio de controle e proporciona precisão e estabilidade em uma operação. Se atinge isso usando a ação integral e ações derivativas de gerenciamento "algoritmizado" (ajustados adequadamente com os requisitos da aplicação para alcançar o melhor equilíbrio entre desempenho e eficiência).

6.5. O potencial da indústria 4.0 na logística 4.0

6.5.1. Qual a importância da "Logística 4.0"?

A "Logística 4.0" pode ser importante para que uma empresa não precise ter um grande volume de itens. Assim, ao vender um produto específico, ela garante a entrega para o comprador e recebe um novo lote do produto rapidamente.

Nesse caso, a "Logística 4.0" colabora, inclusive, com a dinâmica e a organização do espaço da empresa, que não precisa mais contar com um galpão de grande proporção, para armazenagem dos seus produtos.

Há também a vantagem da redução de perdas. Isso porque ela permite a disponibilidade constante dos artigos vendidos no e-commerce, assim como diminui os extravios e impede que ocorram avarias nas caixas, pela efetividade da sua entrega. Ademais, é constatado ainda, a redução de custos na cadeia suprimentos na ordem média de 15%, podendo chegar a até 30% dependendo da otimização sistêmica atingida.

A "Logística 4.0" depende do uso de tecnologias e, por isso, ela é feita por meio de softwares e de programas, que ajudam na coleta de dados importantes para a melhoria dos processos internos e para a solução de eventuais problemas.

6.5.2. A tecnologia na "Logística 4.0"

Justamente por demandar um investimento tecnológico, a "Logística 4.0" precisa de um planejamento de implementação, garantindo que o sistema por trás das entregas do e-commerce seja eficiente.

O trabalho das empresas de automação industrial, nesse sentido, é fundamental. Isso porque é possível elaborar um software específico para cada empresa, atendendo às especificidades de cada negócio. Desse modo, a "Logística 4.0" pode integrar o uso de inteligência artificial, de um *ERP (Enterprise Resource Planning)* para a gestão empresarial, *big data*, internet das coisas, etc. Com esses elementos, é possível conhecer mais o perfil dos compradores, assim como otimizar processos, que vão influenciar diretamente no sucesso da logística do estabelecimento. Ou seja, o estoque estará sempre abastecido, com os produtos mais comprados pelo público, levando em consideração datas e prazos de validade, assim como garantir que não faltem insumos para o funcionamento da empresa.

Nesse cenário, é possível perceber o quanto a tecnologia influencia na efetividade da "Logística 4.0", que deve ser implementada no seu e-commerce para garantir a organização do estabelecimento e a satisfação dos clientes.

6.5.3. Coleta de dados e rapidez na entrega

A "Logística 4.0" traz benefícios para a empresa, tornando-a uma referência no mercado. Um deles diz respeito ao acesso a diferentes dados de compras, por exemplo, ajudando a empresa a identificar informações detalhadas sobre um pedido de carrinho auxiliar para salão rapidamente. Ou seja, quando um cliente realiza a compra do produto, o centro de distribuição mais próximo da residência dele é acionado, o que torna o prazo de recebimento menor e promove a entrega expressa do item.

Esses elementos são indispensáveis para as empresas que desejam crescer. Afinal, essas características são levadas em conta pelos compradores, que priorizam os e-commerces com um bom atendimento e com um envio rápido.

6.5.4. Diminuindo erros e aumenta a segurança

Como a "Logística 4.0" tem como uma das suas principais bases, a automação - com processos ágeis e interligados -, é possível diminuir os erros mais comuns que ocorrem na entrega de pedidos para os compradores.

Um exemplo prático disso é a emissão da etiqueta pronta, sem a necessidade de passar por processos manuais, que são os mais propícios a erros. Tudo isso será visto no sistema interno do e-commerce, que registra cada etapa do pedido, desde o fechamento da compra até a assinatura de recebimento do cliente. Com isso, a segurança da entrega é garantida e permite, inclusive, que o comprador rastreie a sua encomenda em tempo real, por meio do site ou de mensagens no seu celular, sabendo quando receberá o seu pedido.

Todas essas vantagens oferecidas pela "**Logística 4.0**" são essenciais para o e-commerce, garantindo a eficiência e a qualidade dos serviços prestados para os clientes e para o funcionamento do estabelecimento de modo geral.

Quem acompanha as novidades do setor de logística, certamente se surpreende com as principais tendências que devem surgir muito em breve, além de serem impactados com as que já estão sendo implementadas aos poucos nos mais diversos segmentos.

6.5.5. Entrega por drones

O drone, que era um equipamento utilizado apenas para a de captação de imagens, hoje é considerado um potencial meio de entrega para produtos como camisa para uniforme, oferecidos pelo e-commerce. A agilidade é um dos principais recursos que os drones podem promover para as lojas virtuais, visando fazer entregas com prazos menores e mais eficientes. Esse tipo de tendência é bastante promissor, e deverá ser visto nas empresas muito em breve.

7. Considerações Finais

No momento em que lemos este texto, bilhões de pessoas estão interagindo com algum circuito digital, seja ligando o celular, seja usando um relógio ou assistindo a um vídeo na Internet. A quantidade de informação gerada somente na Internet rompeu a casa dos zettabytes (equivalente a um sextilhão de bytes). Portanto, circuitos digitais e toda a eletrônica envolvida nesse volume de informação faz parte da revolução dos bytes nas últimas décadas.

A importância de gerar e tratar a grande quantidade de dados que podem estar disponíveis com estas novas tecnologias não devem gerar essencialmente em sua captação, mas em si o propósito do que será feito com os dados gerados. Estes dados podem ser uma rica fonte que possa permitir decisões orientadas a redução de custos, do tempo entre o pedido e a entrega do bem ou serviço ao cliente e o desenvolvimento de novos produtos. Combinar o *big data* com políticas de análises estratégicas pode ser o diferencial para determinar a causa raiz de defeitos em tempo real, tratar dados de consumo e orientar políticas de estoques e cadeia de suprimentos, aumentar a flexibilidade organizacional através da definição de novas estratégias baseadas em nichos de mercado.

Teremos a facilidade de sistemas de Inteligência Artificial, que nos forneçam com mais exatidão, explicações para descrever como os seres humanos tomam decisões de fato, podem ser associados aos modelos de *data mining (mineração de dados)* e *deep learning (aprendizado profundo)*, amparadas em fontes absolutamente confiáveis.

No decorrer deste estudo, levantamos algumas questões que, após a abordagem do conteúdo, podemos começar a esclarecer. A dependência da tecnologia pela própria tecnologia, traz problemas tecnológicos para os seres humanos? A resposta depende de como a tecnologia é alimentada. Se ela não contar com algoritmos de autoaprendizagem, estará fadada à interferência humana e ingerência. Jamais a tecnologia traz problemas tecnológicos, a não ser pelo seu obsoletismo. Em resumo, a tecnologia ainda dependerá do ser humano tanto para sua atualização de correção de bugs e melhoria de eficiência, quanto para sua manutenção.

Além disso, discutimos se a automação pelo método da neurociência (*machine learning*) é um futuro inevitável e onde isso nos levará, questionando também se poderemos perder espaço em termos de livre-arbítrio para as máquinas. Em resposta, concluímos que a tendência é forte, e exemplos como o IBM Watson mostram que essa tecnologia pode analisar grandes quantidades de dados, aprender com eles e gerar respostas rápidas (IBM, 2023). Com o auxílio da inteligência artificial, pensando num sistema capaz de entender ciência de dados, aprender com eles e raciocinar a partir deles, foi desenhado por um time da IBM, o Watson: inicialmente criado para responder às perguntas feitas num programa de televisão americano, Jeopardy, em 2011. Watson venceu o desafio ao analisar 200 milhões de páginas de livros para responder, em segundos, às perguntas feitas. E assim nasceu o IBM Watson, plataforma que se vale da linguagem humana e da inteligência artificial para analisar grandes quantidades de dados e trazer respostas.

Por último, ao responder à questão "Poderemos perder espaço no contexto de nosso livre-arbítrio, para as máquinas?", buscamos soluções para nos antecipar ao futuro. A máquina poderá ter algo semelhante a livre-arbítrio, mas ainda assim será artificial e algoritmizado, ou seja, baseado num input humano de regras, não obstante limitado.

O que nos difere especialmente das máquinas é o poder do sentimento, tal façanha fornecido pela nossa alma, que justamente nos dá o poder da imprevisibilidade criatividade humana. A máquina poderá simular algo fortuito também, para disfarçar o nosso pensamento, mas será sempre racional ao extremo, mesmo no artificialismo de um hipotético sentimento "*if-else*".

A pergunta "Como a indústria 4.0 na logística 4.0 pode trazer melhoria de vida para nossa sociedade, preservando o desenvolvimento harmônico do ser humano, de seu ambiente e de seus valores?", é respondida ao pegarmos o "gancho" do supercomputador IBM Watson. Assim como o Watson analisa quantidades gigantescas de informações nas linguagens que foram naturalmente produzidas pelo homem, e aprende com elas, a Indústria 4.0 permite a realização de coisas inéditas: reconhecer doenças antes mesmo que os pacientes apresentem sintomas (Indústria 4.0 para área da saúde), prever tendências antes que elas sejam moda (Indústria 4.0 para as áreas têxteis e estilistas profissionais); e quem, sabe responder a perguntas antes mesmo que elas sejam feitas!

Levantamos também algumas indagações, por exemplo, sobre como podemos integrar linhas autônomas, para funcionamento em conjunto, de modo que sua aplicação seja viável no contexto da "indústria 4.0 na logística 4.0"? Em resposta, verifica-se que a Indústria 4.0 vem ajudando os seres humanos a fazerem as coisas de maneira mais eficaz. Não se trata de substituir humanos, é sobre complementar a atividade humana. A tecnologia é muito boa em capacidade infinita. É bom ver milhares de terminais diferentes. Os humanos são muito bons em aprender e tomar decisões, mas às vezes não têm a capacidade de aprender tudo. Unir os dois (Homens e Máquinas) pode ser algo muito poderoso: a busca desse equilíbrio harmônico, é a chave para um futuro promissor.

Fica evidente portanto, quão ampla é a área estudos sobre da "indústria 4.0 na logística 4.0", e imaginamos o potencial de quanto ainda podemos evoluir no futuro acerca dos Sistemas Automatizados para suportar uma complexa Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*) Inteligente.

Pode-se considerar este estudo, um ensaio para definição de escopo para reduzir custos de implementação e manutenção da Indústria 4.0, com segurança e proteção sistêmica, com o máximo de interoperabilidade tecnológica de ponta-a-ponta no contexto de um fluxo de processos que se propõe a ser absolutamente eficiente, propiciando um ápice de inteligência customizada (unindo humanos e fábricas), melhorando sobremaneira as atuais e perspectivas para o futuro da Humanidade e benefícios para a qualidade de vida da Sociedade em geral, nos termos do Código de Ética Profissional da Engenharia, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia.

Contribuições dos Autores

F.J.B.V.; H.H.S.; V.S.S.: Curadoria de Dados, Redação - Preparação do Rascunho Original; Edição, Revisão e Edição. Os autores leram e aprovaram o manuscrito final.

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não têm interesses conflitantes.

Disponibilidade de Dados

Os dados que compõem este estudo estão disponíveis a partir da seguinte referência: VAZQUEZ, Fabio José Buchedid; SILVA, Hugo Henrique da; SOUSA, Vander da Silva e. (2023). Indústria 4.0 na logística do e-commerce. 2023. - Universidade Anhembi Morumbi (UAM), São Paulo. https://doi.org/10.29327/41254701 e https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/36440

Referências

Bonab, S. R., Jafarzadeh Ghoushchi, S., Deveci, M., & Haseli, G. (2023). Logistic autonomous vehicles assessment using decision support model under spherical fuzzy set integrated Choquet Integral approach. Expert Systems with Applications, 214, 119205. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119205

Cabral Filho, D. A. (2023). Logística 4.0: fundamentos e importância. *Brazilian Journal of Business, 5*(3), 1808–1820. https://doi.org/10.34140/bjbv5n3-024

Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing

Industry 4.0 principles. *Computers & Industrial Engineering, 158*, 107379. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379

Clarke, A. C. (2015). *2001: Uma Odisseia no Espaço* (trad. Fábio Fernandes, Ed.; 3a reimpressão). Aleph.

Data-Driven Science. (2022). *5 ways Deep Learning is changing our day-to-day life*. Publicado em 28 de maio de 2022. Data-Driven Science. Acesso em 17 de março de 2023. Disponível em: <https://datadrivenscience.com/5-ways-deep-learning-is-changing-our-day-to-day-life/>.

Delta Electronics. (2022). *CLP de Médio porte Série AS*. Lista de Produtos. Acesso em 17 de março de 2023. Disponível em: <https://delta-electronics.com.br/produtos/clp-de-medio-porte-serie-as/>.

Gartner. (2024, August 21). *Gartner 2024 Hype Cycle for Emerging Technologies Highlights Developer Productivity, Total Experience, AI and Security*. Publicado em 21 de agosto de 2024. Gartner, Inc. Acesso em 02 de outubro de 2024. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-08-21-gartner-2024-hype-cycle-for-emerging-technologies-highlights-developer-productivity-total-experience-ai-and-security>.

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production, 252*, 119869. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869

IBM. (2023). *IBM Watson para watsonx*. 70 anos avançando em IA. Acesso em 17 de março de 2023. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/watson>.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering, 6*(4), 239-242. https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4

Muniz Junior, J., Moschetto, G. P., & Wintersberger, D. (2023). Industry 4.0 at Brazilian modular consortium: work, process and knowledge in engine supply chain. Production, 33. https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220074

Pereira, A., & Simonetto, E. de O. (2018). Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, 16*(1). http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i1.4938

Sakurai, R., & Zuchi, J. D. (2018). As revoluções industriais até a indústria 4.0. *Revista Interface Tecnológica, 15*(2), 480-491. https://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386

Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., & Charrua-Santos, F. M. B. (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento, 4*(1), 111–124. https://doi.org/https://doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316

Santos, B. P.; Silva, L. A. M.; Celes, C. S. F. S.; Borges Neto, João B.; Peres, B. S.; Vieira, M. A. M.; Vieira, L. F. M.; Goussevskaia, O. N.; Loureiro, A. A. F. (2016). *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Belo Horizonte: Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Santos, P. V. S. (2022). Sistemas automatizados na indústria 4.0: sistemas de controle e suas arquiteturas. [E-book]. Belo Horizonte: ULIFE.

Santos, P. V. S. (2022). Sistemas de controle: histórico conceito, sistemas automatizados na indústria 4.0. . [E-book]. Belo Horizonte: ULIFE.

Schwambach, G. C. dos S., Sott, M. K., & Schwambach, R. E. (2024). Dispositivos vestíveis e produtividade no trabalho: uma análise bibliométrica da integração em ambientes profissionais. *Dataset Reports, 3*(1), 101–106. https://doi.org/10.58951/dataset.2024.018

Severino, A. J. (2017). Metodologia do trabalho científico. 2ª Edição. São Paulo: Cortez Editora.

Suleiman, Z., Shaikholla, S., Dikhanbayeva, D., Shehab, E., & Turkyilmaz, A. (2022). Industry 4.0: Clustering of concepts and characteristics. *Cogent Engineering, 9*(1), 2034264. https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2034264

Teixeira, H. T.; Tavares, M. F.; Pereira, R. V. M. (2017). *Sistemas digitais*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 184 p.

Tünkers do Brasil. (2020). Como montar uma linha de produção eficiente. Disponível em: <https://tuenkers.com.br/como-montar-linha-de-producao-eficiente/>.

Vazquez, F. J. B. (2024a). Inteligência artificial aplicada à saúde: Qualidade na busca de diagnóstico. *Dataset Reports, 3*(1), 93–100. https://doi.org/10.58951/dataset.2024.017

Vazquez, J. L. (2024b). INCOTERMS: não é cosmética. *Dataset Reports*, *3*(1), 153–159. https://doi.org/10.58951/dataset.2024.029

Vermulm, R. (2018). Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. *[São Paulo]: IEDI, 2018*. 30 p. http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486

Zhu, L., Wang, P., & Xi, S. (2018). Mean-Variance Analysis of Retailers Deploying RFID-Enabled Smart Shelves. Information, 9(2), 40. https://doi.org/10.3390/info9020040

DATASET REPORTS

journals.royaldataset.com/dr