



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - ICET  
BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**



**INDÚSTRIA 4.0 E A INDÚSTRIA QUÍMICA**

**LAÍS CRISTINA MENDES REPOLHO**

Itacoatiara - AM  
2021

LAÍS CRISTINA MENDES REPOLHO

## **INDÚSTRIA 4.0 E A INDÚSTRIA QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Química Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Margarida Carmo Souza

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R425i Repolho , Laís Cristina Mendes  
Indústria 4.0 e a indústria química / Laís Cristina Mendes Repolho  
. 2021  
27 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Margarida Carmo de Souza  
TCC de Graduação (Química Industrial) - Universidade Federal  
do Amazonas.

1. Tic. 2. Pilares da Indústria 4.0. 3. Empregabilidade . 4. Indústria  
química. I. Souza, Margarida Carmo de. II. Universidade Federal do  
Amazonas III. Título

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e Oxalá por terem me permitido chegar até aqui.

À minha mãe, Leunice, por ter sido o meu suporte e meu apoio, por sempre me incentivar e ajudar. Você é a verdadeira razão de eu ter chegado até aqui. Obrigada mãe, te amo.

À minha irmã, Thaís, por me ajudar a superar os desafios, por fazer críticas construtivas e por sempre me incentivar nos momentos em que eu achava que não seria capaz. Te amo.

Aos amigos que fiz durante a graduação, em especial ao extinto grupo batutinhas, que foram os meus suportes todas as vezes que pensei em desistir. Obrigada por todos os incentivos, pelos conhecimentos compartilhados e pela companhia.

À minha professora e orientadora, Margarida Carmo, por ter aceitado me orientar tanto no estágio quanto no TCC, por acreditar no meu potencial e por contribuir com seus conhecimentos para a minha formação. Muito obrigada, profa.

Aos professores do ICET/UFAM por todos os conhecimentos compartilhados e pelos ensinamentos.

Ao meu amigo Luan, por sempre estar me dando apoio moral e emocional, por me ouvir, por me incentivar e por acreditar que eu sou capaz. Te amo, Lu.

Aos demais familiares, amigos e companheiros que foram presentes desde o começo dessa trajetória, obrigada por fazerem parte da minha história.

Ao universo e aos orixás, gratidão. Fé na caminhada.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. METODOLOGIA.....	7
3. RESULTADOS .....	7
3.1 Indústria 4.0 .....	7
3.2 Pilares da indústria 4.0.....	9
3.2.1. Big data e analytics.....	10
3.2.2. Internet das Coisas (IoT) .....	10
3.2.3. Nuvem (cloud computing).....	11
3.2.4. Segurança cibernética .....	11
3.2.5. Integração de Sistemas (Inteligência Artificial) .....	12
3.2.6. Robôs autônomos .....	12
3.2.7. Manufatura aditiva.....	13
3.2.8. Simulação .....	13
3.2.9. Realidade aumentada.....	14
3.3 Indústria química .....	14
3.3.1 A indústria química brasileira e o uso de tecnologia 4.0.....	16
3.3.2 Tecnologias da indústria 4.0 na indústria química .....	18
3.3.3 Aplicação da tecnologia 4.0 na indústria química.....	19
4. CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS .....	24

## RESUMO

A indústria do futuro tem a internet como papel importante e fundamental no processo de cadeia produtiva, desde a compra e fornecimento da matéria prima até a entrega do produto final ao cliente. Empresas ao redor do mundo correm contra o tempo para entrar e se adaptar a era chamada de indústria 4.0. Este trabalho tem como objetivo buscar esclarecer as seguintes questões: (a) O que é a indústria 4.0? (b) Quais os pilares da indústria 4.0? (c) Quais os desafios encontrados pela indústria química brasileira para se adaptar a indústria 4.0? e (e) Quais as empregabilidades da indústria 4.0 na indústria química? Como metodologia foi realizada uma revisão narrativa da literatura, que tem como base apenas alguns trabalhos ou fontes sobre o assunto e que são considerados mais importantes e capazes de fornecer dados atuais e relevantes sobre o tema. De acordo com os trabalhos utilizados na revisão, podemos definir a indústria 4.0 como a indústria que usa tecnologias, buscando a eficiência na produção, através de ambientes controlados e autônomos, porém com a participação de produtores e consumidores, impactando em uma nova forma de fabricação, com trocas de informações entre toda a cadeia produtiva interna e externa. Além disso, observou-se que diversos países desenvolvidos já utilizam a indústria 4.0, a qual se mantém com base em nove pilares: big data e analytics, internet das coisas (IoT), nuvem (cloud computing), segurança cibernética, integração de sistemas (inteligência artificial), robôs autônomos, manufatura aditiva, simulação e realidade aumentada. Concluiu-se que, a indústria química brasileira ainda tem um longo caminho a percorrer até se adaptar as tecnologias ligadas à indústria 4.0, sendo necessário investimentos e recursos para que o país possa se igualar a nível global. Além disso, a adoção desse modelo digital ainda é difícil, pois falta também mão de obra qualificada e o custo de insumos e energia são elevados. Portanto, estudos mais direcionados a utilização das ferramentas 4.0 e a aplicação dessas tecnologias em processos químicos são imprescindíveis para sua efetiva implementação.

Palavras-chave: TIC; Pilares da Industria 4.0; Empregabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma nova revolução tecnológica está sendo vivenciada pelo mundo, marcada por um conjunto de inovações dinâmicas, produtos e indústrias, capazes de promover uma mudança em toda a economia e impulsionar o aumento de desenvolvimento a longo prazo (CGEE, 2020). A indústria do futuro tem a internet como papel importante e fundamental no processo de cadeia produtiva, desde a compra e fornecimento da matéria prima até a entrega do produto final ao cliente. Empresas ao redor do mundo correm contra o tempo para entrar e se adaptar a era chamada de indústria 4.0 (GOMES; SANTOS; CAMPOS, 2018).

Há vários elementos relacionados à indústria 4.0, um de seus fundamentos básicos é interligar sistemas, unidades de trabalhos e máquinas, de modo a promover a descentralização e a virtualização dos processos de forma racional. Existem 9 tecnologias ligadas a esses aspectos, sendo elas: big data e analytics, internet das coisas (IoT), nuvem (cloud computing), segurança cibernética, integração de sistemas (inteligência artificial), robôs autônomos, manufatura aditiva, simulação e realidade aumentada. A utilização dessas tecnologias impulsionou o ritmo industrial, trazendo mudanças expressivas em diferentes ramos da indústria moderna (STHEL; LOUREIRO, 2018).

Com a chegada da nova revolução industrial, as empresas enfrentam e enfrentarão muitos desafios para conseguir se adaptar às novas tecnologias, já que esta indústria está associada à manufatura, trazendo conceitos e ferramentas tecnológicas capazes de aumentar a produtividade e a eficiência, elevando então os níveis de confiabilidade e de segurança dos processos produtivos (PATRUNI, 2019).

Esse novo modelo traz inúmeras possibilidades e melhorias, promovendo o avanço na tecnologia, na conectividade das estações de trabalho, produtos e serviços. Contudo, nem todas as empresas estão prontas para essa nova realidade, visto que se faz necessário uma profunda transformação, em todos os aspectos, dentro da organização. A indústria química brasileira, por exemplo, enfrenta dificuldades para se adequar a essa nova forma de indústria. Altos custos de energia e matéria prima, elevada burocracia e limitação de equipamentos, são alguns dos impasses enfrentados (SILVA et al., 2020).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é buscar esclarecer as seguintes questões: (a) O que é a indústria 4.0? (b) Quais os pilares da indústria 4.0? (c) Quais os desafios encontrados pela indústria química brasileira para se adaptar a indústria 4.0? e (e) Quais as empregabilidades da indústria 4.0 na indústria química?

## 2. METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados desse trabalho, foi realizada uma revisão narrativa da literatura, que tem como base apenas alguns trabalhos ou fontes sobre o assunto que são considerados mais importantes e capazes de fornecer dados atuais e relevantes sobre o tema.

De um modo geral, os métodos utilizados numa revisão compreendem a condução da revisão em quatro etapas: Pesquisa (procura e seleção dos estudos), avaliação, síntese e análise. As etapas de uma revisão da literatura narrativa ou também denominada de tradicional são: seleção de um tema de revisão; pesquisa na literatura; seleção, leitura e análise da literatura; redação da revisão; e referências (SOUSA et al., 2018).

Para a realização da pesquisa utilizou-se os seguintes critérios: (1) Os artigos foram obtidos através da plataforma Google Acadêmico. (2) Na busca dos artigos, usou-se os seguintes descritores: indústria 4.0; pilares da indústria 4.0; empregabilidade da indústria 4.0; indústria química. (3) Os critérios de inclusão foram: Idioma (português); Disponibilidade (texto integral), todos os artigos disponíveis para download na internet.

A análise e síntese dos artigos selecionados, em relação ao delineamento de pesquisa, foram realizadas de forma descritiva, com o intuito de reunir o conhecimento produzido sobre o tema explorado na revisão.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Indústria 4.0

A quarta revolução industrial foi denominada pelo governo alemão como indústria 4.0. É uma nova era da indústria que utiliza os recursos Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para melhorar o processo de manufatura e negócio. Ela gera o que tem sido chamado de smart factory, uma fábrica inteligente com estrutura modular onde os sistemas ciberfísicos monitoram os processos físicos, criando uma cópia virtual do mundo físico (AZEVEDO, 2017).

Segundo Chiaça e Abrantes (2020), o princípio básico da indústria 4.0 é a conexão de máquinas, ativos e sistemas. Com isso, as organizações se tornarão capazes de criar redes inteligentes ao longo de toda a sua cadeia de valor, controlando a produção de maneira autônoma. Normalmente, usam-se termos como “indústria inteligente” ou “internet industrial” para se referir a essa nova revolução, contudo, mantendo seu conceito central, onde os



processos de fabricação são transformados rapidamente pelos avanços da tecnologia da informação, em especial da ciência da computação e do melhoramento de softwares.

Os avanços das principais tecnologias aplicadas nos dias de hoje são provenientes de anos de revoluções industriais, porém as mudanças não ocorreram apenas no campo tecnológico, como também nos cenários econômicos, políticos e sociais. Atualmente, já começamos a presenciar a quarta revolução industrial, que tem como uma de suas características mais fortes a união das máquinas com a internet. Essa junção, aliada a constante evolução das tecnologias interfere diretamente nos processos e departamentos industriais. Um exemplo disso, é a inteligência artificial ou AI, utilizada em softwares e/ou hardwares para organizar os bancos de dados de maneira inteligente, otimizando o processo produtivo (CHIAÇA; ABRANTES, 2020).

Essa indústria tem como um de seus principais focos a personalização em massa com o custo mínimo de produção, e isto se torna possível por meio da inovação, custos mais baixos e melhores para as necessidades dos clientes, soluções ótimas, sistemas inteligentes e alternativas para a demanda da produção que, só são praticáveis pelos recentes avanços da digitalização industrial e da integração da internet com o mundo físico e virtual (FALCÃO, 2019).

Outro foco dessa indústria é atender as necessidades exigidas pelos clientes e, para isso, necessita de flexibilidade, eficiência, sustentabilidade, qualidade superior e redução dos custos que, podem ser conseguidos com o uso das tecnologias de informação, como a internet das coisas, que atuam nos processos de negócios e de engenharia. Essa indústria criará uma nova forma de fabricação, uma vez que produtos e serviços são flexíveis, customizados e econômicos. Os clientes participarão de forma ativa e será possível simular todas as etapas do processo, descrevendo sua influência na fabricação, o que ocasionará um melhor desempenho, controle e melhoria na troca de informações entre toda a cadeia produtiva interna e externa (FALCÃO, 2019).

De acordo com Azevedo et. al. (2020), a indústria 4.0 tem a propensão de introduzir a digitalização e automação no ambiente de manufatura, ditando a conexão de máquinas, sistemas e ativos, oferecendo então um ambiente controlado e autônomo. Essas inovações são frutos da combinação dessas tecnologias de comunicação e informação com a automação industrial. Por meio da combinação de técnicas avançadas de manufatura e tecnologias digitais, a indústria 4.0 possibilita o desenvolvimento dos sistemas produtivos de forma que se promova a integração de seus elementos. Esse avanço da inteligência da manufatura proporciona aos gestores a criação de dados mais confiáveis e úteis, impulsionando a criação

de ferramentas de tomadas de decisão mais aprimoradas e com menor tempo de resposta. Essa inclusão aumenta a flexibilidade, adaptabilidade e eficiência dos processos, melhorando a comunicação entre produtores e consumidores (SANTOS, 2019).

Portanto, como resposta a nossa primeira pergunta: “O que é a indústria 4.0?”, podemos defini-la como a indústria que usa tecnologias, buscando a eficiência na produção, através de ambientes controlados e autônomos, porém com a participação de produtores e consumidores, impactando em uma nova forma de fabricação, com trocas de informações entre toda a cadeia produtiva interna e externa. O surgimento desta nova forma de indústria está em um episódio de grandes evoluções e, traz consigo a base da indústria do futuro, possuindo um grande impacto na sociedade e mudando a mesma para sempre.

### **3.2 Pilares da indústria 4.0**

Cada mudança no setor industrial foi caracterizada por uma ferramenta ou avanço tecnológico e, no cenário atual não é diferente. Há um grupo de ferramentas que são consideradas pilares essenciais para atingir a integração total do sistema, que são etapas com a finalidade de alcançar o status de fábrica inteligente. Contudo, é necessário aprender o conceito de sistema ciberfísico e de como seria a sua implementação na indústria, antes de se estudar cada ferramenta (CARDOSO; CHEBAR; BELTRÃO, 2018).

A indústria 4.0 é conhecida pela convergência das tecnologias físicas, digitais e biológicas, abrangendo as principais inovações dos mercados de automação e controle e tecnologia da informação, utilizadas em vários segmentos do mercado. As instituições controlam seus processos por meio de sistemas ciberfísicos e com a internet das coisas, tornando-os mais eficientes, autônomos e customizáveis (CHIAÇA; ABRANTES, 2020).

Diversos países desenvolvidos já utilizam a indústria 4.0, a qual se mantém com base em nove pilares: big data e analytics, internet das coisas (IoT), nuvem (cloud computing), segurança cibernética, integração de sistemas (inteligência artificial), robôs autônomos, manufatura aditiva, simulação e realidade aumentada (Figura 1).

Figura 1: Pilares da Indústria 4.0



Fonte: The Boston Consulting Group; (2018).

A fim de responder a nossa segunda pergunta: “Quais os pilares da indústria 4.0?”, a seguir descreveremos cada um deles.

### 3.2.1. Big data e analytics

É um enorme conjunto de dados, onde grande parte é não estruturada e necessita de análise em tempo real. O termo big data trata a incapacidade das arquiteturas de dados em uma forma mais eficiente para manusear uma grande quantidade de dados, onde se é exigido uma arquitetura escalável para, de modo eficaz, armazenar, manipular e analisar (AZEVEDO, 2017).

As características do big data implicam em uma nova arquitetura conhecida como “Vs” do Big Data, que são:

- Volume (tamanho do conjunto de dados);
- Variedade (dados a partir de múltiplos repositórios, domínios ou tipos);
- Velocidade (taxa de fluxo de dados);
- Variabilidade (coerência no conjunto de dados).

### 3.2.2. Internet das Coisas (IoT)

O termo Internet of Things foi usado em 1999, pelo pesquisador britânico Kevin Ashton, em uma apresentação onde ele falava em etiquetar eletronicamente os produtos da empresa. Com os avanços das tecnologias, a definição do conceito é, em uma visão geral, a de

equipamentos conectados à internet, que se comunicam entre si, tecnologia conhecida como Machine to Machine (PINTO, 2020).

Na indústria, passou a ser conhecido como IoT, que graças aos sensores e elementos de controle permitem a conexão das máquinas à internet. Junto com outras tecnologias, a IoT gera a possibilidade de aumento de eficiência e otimização dos tempos de produção. Entre as suas melhorias estão a possibilidade de compartilhamento de informações entre os equipamentos em tempo real e o controle de objetos de forma remota (PINTO, 2020).

### **3.2.3. Nuvem (cloud computing)**

Cloud computing é uma tecnologia que usa a conectividade com a Internet para hospedar os mais variados recursos, programas e informações, permitindo que o usuário acesse as informações arquivadas por meio de qualquer computador, tablet ou telefone celular, tudo isso sem a necessidade de conectar-se a um computador pessoal ou servidor local, ou seja, a nuvem é uma forma de disponibilizar informações e melhorar a experiência, em nível pessoal e profissional, para quem depende de recursos tecnológicos (ASSAD, et al., 2012).

As vantagens dos serviços de nuvem são: ter gigabytes de espaços gratuitos, segurança no armazenamento de dados e sincronização automática. Como citado anteriormente, as informações são guardadas em servidores e podem ser cheçadas com o uso de um computador ou smartphone, não sendo necessário o armazenar localmente, diminuindo gastos com compra de discos. Outra vantagem de se usar a nuvem é que a sincronização ocorre de forma automática e, mesmo estando off-line, ao se alterar um documento, este é replicado na nuvem em segundos (BORLIDO, 2017). Isso demonstra que o mundo virtual veio para ficar, e o fato de poder acessar os dados de qualquer lugar sem tê-los fisicamente, não significa que os dados tenham perdido este formato.

### **3.2.4. Segurança cibernética**

Com o aumento da conectividade e o uso de protocolos de comunicação padrão que a indústria 4.0 traz consigo, surgiu a necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e linhas de fabricação das ameaças de segurança cibernética (MATA et al., 2018).

### **3.2.5. Integração de Sistemas (Inteligência Artificial)**

O conceito de IA envolve um agrupamento de várias tecnologias, como redes neurais artificiais, algoritmos, sistemas de aprendizado, que analisam grandes volumes de dados, possibilitando a elas ampliarem seus conhecimentos, tornando-as aptas a simular capacidades humanas ligadas à inteligência. Por exemplo, perceber o significado em linguagem escrita ou falada, aprender, reconhecer expressões faciais, raciocínio, percepção de ambiente e habilidade de análise para a tomada de decisão e assim por diante. Isto é, IA está associado a um conjunto de software, lógica e uso de computadores, visando a realização de funções que se pensava ser exclusivamente humanas (GOMES, 2010).

IA também é um campo da ciência, cujo propósito é estudar, desenvolver e empregar máquinas para realizarem atividades humanas de maneira autônoma. Também está ligada à robótica, ao Machine Learning (Aprendizagem de Máquina), ao reconhecimento de voz e de visão, entre outras tecnologias (GOMES, 2010).

Na indústria, o uso de IA beneficia tanto os clientes como a empresa, pois através da integração de sistemas, por exemplo, fazendo uso de sensores nas etapas de um sistema de produção, é possível identificar defeitos e problemas relacionados à qualidade, podendo assim, reduzir significativamente o retrabalho e peças defeituosas. Essa interconexão entre sistemas oferece métrica em tempo real, facilitando a rastreabilidade e otimização do fluxo do produto (PASQUINI, 2018).

### **3.2.6. Robôs autônomos**

Robôs autônomos são estruturados de acordo com o nível de autonomia desejado, dependendo da função que precisam cumprir. Na Indústria 4.0, eles precisam apresentar algumas habilidades, com destaque em:

- (a) Propriocepção – precisam ter autonomia, capaz de trabalhar sem interferência humana e realizar sua automanutenção;
- (b) Realizar tarefas - substituir o trabalho humano em situações de perigo, repetitivas ou até mesmo inviáveis para o ser humano. No chão de fábrica, por exemplo, pode, utilizados na movimentação e carregamento de produtos, na linha de produção e outros trabalhos pesados.
- (c) Localização – é necessário que tenham um bom sistema de localização para captar dados do ambiente que estão, em tempo real, e possam se deslocar entre pontos sem navegação humana. Nas indústrias, por exemplo, fitas guias são usadas para

que os robôs autônomos possam seguir seu caminho de um ponto a outro e reconhecer seus locais de parada.

Além das habilidades apresentadas, na Indústria 4.0, os robôs autônomos apresentam a capacidade de "aprender sozinho". Sem ajuda externa, conseguem ganhar novas habilidades e reformular sua estratégia de acordo com o ambiente, podendo interagir com outras máquinas e até com seres humanos, realizando tarefas de forma mais rápida e segura, resultando na redução de custos, sendo de fundamental importância para a Indústria 4.0 (MELO, 2020). Além disso, integrados aos sistemas de internet recebem os programas de produção, que ficam armazenados no sistema da empresa, os quais foram elaborados para fabricar determinado produto (SILVA; LARAICH, 2020).

### **3.2.7. Manufatura aditiva**

A manufatura aditiva, também conhecida como impressões 3D, já faz parte de muitas indústrias, o que gera expectativa de que ela ganhe cada vez mais espaço. Ela é utilizada, por exemplo, para facilitar a construção de protótipos, agilizar a realização de modificações e permitir a criação de produtos personalizados (YAMADA; MARTINS, 2018).

As indústrias utilizam essa tecnologia para reduzir os tempos de fabricação de seus produtos, obtendo-os no mercado de forma mais rápida, com um maior custo afetivo e um maior valor agregado, devido a utilização de recursos personalizáveis. Sabendo do potencial da manufatura aditiva, muitos processos foram desenvolvidos permitindo o uso de vários materiais, que vai desde plásticos até metais para desenvolvimento de produtos (ALBERTIN, et al., 2017).

### **3.2.8. Simulação**

Trata-se da reprodução virtual de ambientes e processos de desenvolvimento e manufatura da indústria, permitindo maior controle e identificação de não conformidade. A simulação é utilizada para se obter uma gestão de processos, identificação e minimização de falhas. O uso das simulações virtuais permite que os processos e produtos sejam testados e ensaiados durante fase de concepção, reduzindo custo com falhas e o tempo de projeto (PASQUINI, 2018).

A simulação computacional e as ferramentas de CAE (Computer Aided Engineering) já fazem parte das mais diversas áreas da indústria. Antes de se tornarem realidade, processos de fabricação, performance de produtos, comportamento térmico, estático, de fluidos, acústicos, entre outros, são analisados no ambiente virtual. Podendo assim, otimizar o uso de

recursos, diminuir o desperdício, desenvolver processos de fabricação mais eficientes, reduzir custos e criar produtos mais atrativos (YAMADA; MARTINS, 2018).

### **3.2.9. Realidade aumentada**

A realidade aumentada é uma tecnologia que integra os mundos virtual e real. Com o uso dessa tecnologia é possível, por exemplo, sobrepor objetos gerados por computador em um ambiente real, por meio de um dispositivo de visualização (smartphone, tablet ou óculos especiais), permitindo uma maior interação com esses objetos e/ou situações que antes eram limitadas à nossa imaginação. Para que isso ocorra, ambientes são recriados por softwares, aplicativos, câmeras e recursos que exploram a tecnologia em situações reais (ROMÃO; GONÇALVES, 2013).

Na indústria, a realidade aumentada, é uma ferramenta que aumenta a produtividade, reduz custos e tempo para a manutenção e inspeção de equipamentos nas fábricas, além de ajudar no controle da produção, pois possui as seguintes funcionalidades:

- (a) Usada em treinamentos de profissionais para simular situações;
- (b) Mede objetos simplesmente ao apontar a câmera de um dispositivo para o objeto em questão;
- (c) Acelera a curva de aprendizado, pois essa tecnologia permite que o usuário conheça seu objeto de estudo em detalhes minuciosos, tornando o aprendizado torna mais ágil;
- (d) Melhora a visibilidade da informação, tornando-a mais acessível e rica em detalhes, por exemplo, para obter dados como temperatura e a validade das peças, basta mirar o dispositivo ao objeto.

Na indústria 4.0, apesar de ainda estar no início de seu desenvolvimento, a realidade aumentada tem uma função importante, a tendência de ser utilizada em funções como manual de montagem, operação e manutenção de máquinas (YAMADA; MARTINS, 2018). Em estágio inicial, a realidade aumentada tem o objetivo de melhorar a tomada de decisão e procedimentos de trabalho, fornecendo informações e instruções em tempo real para o trabalhador (MELO, 2020).

## **3.3 Indústria química**

Produtos químicos e seus respectivos processos de produção são fundamentais em nossa sociedade, seja na produção de intermediários químicos ou produtos finais. Todos esses

processos se relacionam à extração ou transformação de matéria-prima bruta nos produtos de interesse. Em termos energéticos, algumas conversões podem ser caras, raramente se processam por completo e requerem técnicas de separação dispendiosas. A indústria química consome quantidades expressivas de recursos naturais e energia, sendo responsável por enormes quantidades de resíduos e efluentes (AZEVEDO; TADEU, 2020).

Os produtos da indústria química estão presentes e são essenciais em qualquer atividade humana, começando no tratamento de água e esgotos, até a produção de distribuição de alimentos, preservação e recuperação da saúde e o lazer, a construção civil, a produção metal-mecânica e as tecnologias da informação. O consumidor tem contato apenas com uma pequena parte da produção industrial química, mais de dois terços chegam aos usuários na forma de automóveis, imóveis, equipamentos de todos os tipos, alimentos e outros bens, essenciais ou não (GELEMBECK et al., 2007).

Muitos produtos da indústria química mundial são commodities baseadas em tecnologias aprovadas. O progresso da indústria química nos mercados desenvolvidos deve ocorrer a partir da perspectiva de inovações em especialidades químicas e novas funcionalidades, conquistadas graças às novas tecnologias de processo e às novas metodologias de controle de microestruturas. Os principais desafios para essa indústria envolvem as necessidades entre o meio ambiente e as considerações econômicas, junto com o comprometimento com gastos em pesquisa e desenvolvimento por meio de investimentos compartilhados em tecnologia, consórcios entre governo, empresas privadas e centros de pesquisas (ANTUNES; GALERA; RUBINSTEIN, 2011).

A indústria química é uma das indústrias mais competitivas e mais bem-sucedidas, engloba um vasto campo de atividades de processamento e fabricação, fornecendo quase todos os setores da economia. O setor químico abrange diversas áreas de produtos industrial e final, em diferentes níveis tecnológicos, tais como orgânicos e inorgânicos, para uso farmacêutico, limpeza, adubos e fertilizantes, tintas, esmaltes e vernizes, além de fibras artificiais e sintéticas. Esse grupo de atividades coloca a indústria química como a 8ª indústria que mais fatura mundialmente (SCALIZA, 2020).

Aumentar a taxa de inovações das empresas e o faturamento do setor químico com produtos de maior conteúdo tecnológico é um desafio constante. O setor químico industrial, em escala global e no Brasil, é um dos maiores investidores em pesquisa e desenvolvimento, tendo índices prósperos de inovação. Contudo, o seu grande desafio se refere à sustentabilidade, que consiste em desenvolver produtos e processos com menor demanda por



energia, aumentando a competitividade econômica e, principalmente, não prejudicando o ambiente e a vida (GUARIEIRO et al., 2018).

A instalação da fábrica inteligente traz impactos peculiares a qualquer inserção de inovação tecnológica. Na indústria química, a aplicação das novas tecnologias impacta diretamente na aprendizagem e atualização do conhecimento técnico, para que se tenha a total comunicação dos sistemas e funcionalidade das tecnologias. Sendo assim, tanto o estudante quanto o profissional da área da química devem se qualificar, especialmente, em relação à área tecnológica e ao desenvolvimento de habilidades computacionais (STHEL; LOUREIRO, 2018).

### **3.3.1 A indústria química brasileira e o uso de tecnologia 4.0**

Uma pesquisa feita pela CNI (Conselho Nacional da Indústria) em 2016 revelou que o conhecimento da indústria brasileira sobre tecnologias digitais e a sua incorporação à produção, pré-condições para o avanço da tecnologia 4.0, ainda é pouco divulgado. Nesse estudo, 42% das empresas desconheciam a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria e, mais da metade delas (52%) não utilizam nenhuma tecnologia digital de uma lista de 10 opções. O desconhecimento ainda é maior entre as pequenas empresas (57%) e entre as grandes, o percentual que não identificou algumas das 10 tecnologias apresentadas como importantes para a competitividade caiu para 32% (CNI, 2016).

Mesmo com modelos de casos reais, o foco da indústria 4.0 está limitado a alguns setores específicos. No Brasil, o avanço deste tipo de indústria depende de alguns fatores, como uma maior compreensão das empresas sobre os benefícios da digitalização, no aumento da produtividade, nas oportunidades de novos modelos de negócios, flexibilização, customização da produção e redução de tempo para lançar novos produtos no mercado. A falta de controle sobre os componentes e tecnologias da indústria 4.0, os altos custos e a falta de mão de obra qualificada são os principais obstáculos para as empresas brasileiras (ELIENESIO, 2018).

Este novo formato de indústria tem o potencial de mudar e revolucionar as fábricas, os processos e suas dinâmicas atuais, gerando soluções para os desafios que impactam diretamente na produtividade nacional. A sua transversalidade e agilidade trazem diversas oportunidades para vários setores industriais. No Brasil, a sua aplicação envolve vários desafios que precisam ser superados para recolocar o país frente às cadeias globais de valor (CGEE, 2020).

Especialmente no Brasil, muitas das preocupações quanto à capacidade tecnológica do país para a manufatura avançada estão relacionadas a características econômicas, políticas e culturais que não foram tratadas ou exploradas corretamente, caracterizadas em suas principais forças, fraquezas, oportunidades e ameaça ao esforço tecnológico. Destaca-se que a indústria brasileira apresenta uma indústria diversificada e diferenciada, com empresas simultâneas com níveis variados de capacidade e desempenho competitivo nos mais diversos sistemas produtivos. Percebe-se que a indústria brasileira procura um novo modelo industrial, apesar dos significativos avanços na industrialização alcançados ao longo dos anos 1950 e 1970, algumas limitações incorporadas em seu potencial provocaram desafios ao desenvolvimento da indústria 4.0 no país (CGEE, 2020).

Muitas empresas brasileiras já automatizam seus processos, porém ainda não se adquiriu a manufatura digital. A indústria 4.0 é formada por duas vertentes: processos integrados que garantem a produção customizada e produtos inovadores. O Brasil ainda precisa percorrer muito nesses dois sentidos. Para reverter essa situação, o país precisa investir em inovação e educação, até mesmo para que se possa compreender o que é digitalização. Muitas empresas, instituições e universidades já estão trabalhando em torno desta indústria, porém não é o suficiente para gerar mão de obra de qualificação e de mercado (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

Empresas com um grande mix de produtos, como por exemplo, indústrias automobilísticas e as de setor de alimentos e bebidas terão um maior grau de flexibilidade, enquanto as indústrias que focam na alta qualidade, como semicondutores e produtos farmacêuticos, se beneficiarão com a redução da taxa de erros. Os clientes poderão participar de todo o processo de produção por meio da tecnologia da informação, visando uma integração de processos entre os clientes e a empresa (SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

Nos dias atuais, os commodities estão na maior parte dos produtos químicos no Brasil e são caracterizados por não agregar valor tecnológico, funcionando como matéria prima para fabricação de outros produtos. Geralmente, o país exporta commodities e importa produtos químicos com valor agregado. Com o uso das tecnologias cada vez mais presentes, a expectativa do país é aplicar essas tecnologias aos produtos e a química fina, fornecendo cada vez mais especialidades e produtos finais com maior valor agregado (SILVA, 2018).

Portanto, para Silva (2018), o uso de matérias primas renováveis se mostra como um diferencial no futuro da indústria química brasileira. O uso de biomassa renovável em substituição aos combustíveis fósseis, mostra-se como uma oportunidade viável, duradoura e cada vez mais importante para o futuro. Além disso, processos térmicos, químicos e

biotecnológicos estão transformando a biomassa em moléculas úteis. Assim, é possível prever, que num futuro próximo, o crescimento das indústrias químicas brasileiras será baseado nesse tipo de matéria e seremos testemunhas do declínio das indústrias petroquímicas.

O Brasil tem competência para desenvolver novas tecnologias e se tornar mais competitivo no mercado, utilizando as ferramentas da indústria 4.0 em setores como petróleo e gás, onde o país já se encontra relativamente bem estabelecido, na agropecuária e no setor de energias renováveis. A transformação digital é inevitável e um importante passo para a competitividade. Essa nova indústria proporciona um grande potencial para startups, pequenas e médias empresas. Essas instituições serão essenciais para oferecer serviços digitais e soluções tecnológicas customizadas. E, por fim, o desenvolvimento das novas competências e o desenvolvimento profissional continuado oferecem uma nova dimensão de oportunidades em formação e capacitação profissional (ALBERTIN; ELIENESIO; AIRES, 2017).

### **3.3.2 Tecnologias da indústria 4.0 na indústria química**

A nova realidade da indústria química está associada ao processo contínuo de digitalização dos modelos de negócio. Essa nova atuação tem a ver com tópicos e conceitos de economia circular, matérias-primas renováveis, energias renováveis, utilização e captura de carbono, biorefinarias e bioplásticos. Há um grande investimento em tecnologia, portfólios produtivos e estrutura de criação de valores, além dos novos modelos de negócio na indústria química (ABIQUIM, 2018).

Mesmo com o cenário promissor, a utilização das novas tecnologias utilizadas na indústria 4.0 ainda se apresenta de maneira tímida. Um estudo realizado em 2016 pela Confederação Nacional da Indústria, constatou que a indústria química ocupa a 10ª posição entre os setores industriais que utilizam as altas tecnologias em seus processos. E em relação à utilização de tecnologias digitais voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva, o setor químico não se encontra nem entre os dez primeiros setores (PATRUNI, 2019).

As ferramentas 4.0 podem ser aplicadas em vários setores de uma planta química. Uma planta com aplicação de tecnologias inteligentes a nível industrial é capaz de obter completa integração no planejamento e programação de produção, trazendo aumento de produtividade, economia de recursos e melhor desenvolvimento competitivo. Os riscos de acidentes diminuem, devido ao uso de sistemas de prevenção de falhas, detectar os erros e respostas em tempo real (CARDOSO; CHEBAR; BELTRÃO, 2018).

### 3.3.3 Aplicação da tecnologia 4.0 na indústria química

A indústria química de processo contínuo, expressa grande potencial de melhoria perante as perspectivas da indústria 4.0. A operação segura e eficiente das plantas necessita de monitoramento constante de milhares de variáveis de processo. Hoje em dia, operadores humanos são os responsáveis por gerenciar situações anormais. Portanto, para a indústria química de processo contínuo, o objetivo da indústria 4.0 não é apenas maximizar o lucro, mas também reduzir acidentes e preservar o meio ambiente. O setor obtém benefícios com a utilização de tecnologias como o Big Data e os sistemas ciberfísicos (SANTOS, 2019).

Para mostrar a aplicação da tecnologia 4.0 na indústria química foram selecionados (5) trabalhos: (1) Azevedo et. al. (2020); (2) Cardoso, Chebar e Beltrão (2018); (3) Sthel e Loureiro (2018); (4) Ferreira e Paula (2018); (5) Azevedo (2017).

Azevedo et. al. (2020) utilizaram ferramentas da qualidade da indústria 4.0 para desenvolver um hardware para controle de armazenamento de produtos químicos, formados por um arranjo de moléculas que, juntas, compõem tudo que está ao nosso redor. Como se sabe, alguns desses compostos são perigosos ao ser humano e ao ambiente, podendo ser prejudiciais sozinhos ou quando misturados, causando explosões, incêndios e queimaduras. Saber como manuseá-los, armazená-los e caracterizá-los é fundamental para a segurança de quem tem contato com eles. O hardware desenvolvido e empregado no gerenciamento de armazenamento e logística teve seu funcionamento baseado em imagens dos produtos, detectando a imagem do engradado e fazendo leitura do rótulo com devido código de barras e também mapa de área de armazenamento, mostrando os locais onde tem ou não produtos armazenados e quais são, usando desta mesma tecnologia para o transporte. Assim, o sistema autônomo detecta o produto químico e indica o melhor lugar para guardar e transportar.

Cardoso, Chebar e Beltrão (2018) realizaram um estudo de caso fazendo uma análise de geração de energia a partir do biogás. O estudo visou especificar ganhos e melhorias em uma planta hipotética de reforma de biogás, aplicando várias ferramentas da indústria 4.0. Propuseram o uso de tecnologias desde a coleta de resíduos orgânicos para aterros, até a geração de energia do biogás gerado, ficando evidente o crescimento de eficiência após a aplicação das novas tecnologias.

Na tabela 1 podemos ver o setor da planta onde foram aplicadas as tecnologias, quais foram aplicadas e seus ganhos.

Tabela 1: Aplicação das tecnologias 4.0 por setor na planta de produção de biogás.

<b>Setor da Planta</b>	<b>Tecnologia 4.0</b>	<b>Ganhos</b>
Pré-coleta	Automatização de separação de resíduos	Aumento na quantidade de lixo reciclado.
Captação, Purificação e Reforma	Rede de sensores inteligentes	Acompanhamento das variáveis do processo. Tomada de decisão otimizada. Redução de custos com manutenção.
Geração de Energia	Sistema de Gestão autocorretivo	Maior eficiência na produção de energia devido ao controle de demanda.

Fonte: CARDOSO, CHEBAR e BELTRÃO. 2018 (Adaptado)

A partir da planta hipotética, Cardoso, Chebar e Beltrão (2018) concluíram que a separação de lixo robotizada contribui para o aperfeiçoamento da coleta e do processo de reciclagem, melhorando a qualidade do biogás produzido e diminuindo a insalubridade dos trabalhadores. Além disso, afirmaram que as emissões de gases do efeito estufa e as perdas de biogás poderiam ser reduzidas. Os sistemas de sensores inteligentes integrados monitorariam o processo em tempo real, otimizando as tomadas de decisão, prevenindo acidentes e reduzindo custos. E por fim, a utilização de um sistema autocorretivo iria aumentar a eficiência na produção de energia e prevenir desperdícios.

Sthel e Loureiro (2018), ao observarem a preocupação global da grande dependência do uso do petróleo e de seus derivados, a possibilidade de escassez e do aumento da temperatura da terra consequente dos gases do efeito estufa, realizaram um estudo de caso, em uma usina de etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar, uma fonte limpa e alternativa de energia. A Usina fictícia Ethan LS avistou a oportunidade de investir na inovação tecnológica dos seus processos e instalações ao longo de toda a sua cadeia de suprimentos, utilizando tecnologias 4.0 e tendo como objetivo criar um meio industrial onde equipamentos, dispositivos, informações e pessoas interajam no ambiente físico e virtual, buscando reduzir custos e aumentar a produtividade das operações num período de médio e longo prazo, ressaltando a responsabilidade ambiental e social.

Todos os serviços e processos foram integrados a um único sistema, denominado CPS, sendo esse a base que facilita a conexão e comunicação das tecnologias industriais 4.0. Utilizou-se a combinação dos pilares da indústria 4.0, nuvem e Big Data em toda a cadeia produtiva em tempo real. Após um ano da instalação, foi feito um estudo para analisar e

identificar os resultados financeiros da digitalização da Ethan LS. A tabela 2 mostra os resultados em um cenário pessimista, considerando 60% dos valores da redução de custo.

Tabela 2: Redução de custos anuais a partir da implementação de tecnologias.

<b>Atividade implementada</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Resultados (%)</b>	<b>Resultados (R\$)</b>	<b>Referência</b>
<b>Integração do ERP na nuvem</b>	Redução dos custos de manutenção com TI	9,0 %	R\$ 389.227,67	Blois (2017)
<b>Big Data e Analytics</b>	Redução do custo total da usina	6,0%	R\$ 2.172. 722,24	Bi-survey (2018)
<b>Simulação</b>	Redução do custo total da usina	7,8%	R\$ 2.824.538,91	IAA (2018)
<b>Robôs automatizados</b>	Redução do custo total da usina	2,2%	R\$ 782.180, 01	Setor energético (2017)

Fonte: STHEL; LOUREIRO (2018)

Sthel e Loureiro (2018) concluíram que a adoção de fábricas inteligentes trazem bons resultados, como por exemplo, o aumento de produtividade e eficiência energética, sendo necessário o investimento em tecnologias em toda a cadeia de suprimentos, para que se tenha destaque e uma vantagem competitiva no mercado atual.

Ferreira e Paula (2018), trazem dados de outro setor da indústria química que vem buscando se adaptar à indústria 4.0, a Indústria de papel e celulose P&C. Ela tem a pretensão de se organizar, num futuro próximo, em “ecossistemas”, substituindo os processos e funções fabris. Farão uso da computação de nuvem e sistemas de big data, clusters interconectados da cadeia de valor enviarão e receberão informações um do outro. Manutenções poderão ser antecipadas e aumentarão o tempo de vida útil dos ativos, tendo uma maior produtividade a partir de um sensoriamento virtual e real.

Usando a IoT, a indústria vem desenvolvendo a capacidade de capturar e compartilhar dados e informações de máquinas e processos de produção de celulose, papel e energia,

visando usá-los em prol dos clientes. O uso da internet no processo produtivo leva a uma geração de dados a ser arquivado, processado e apresentado de uma maneira energeticamente sustentável e eficiente. Diante disto, surgiu o conceito Green IoT , que são procedimentos adotados pela IoT para redução do efeito estufa, provocado pela adoção dessas tecnologias no curto prazo. Ainda se espera que processos relacionados a green IoT possam reduzir o rastro de carbono relacionados à Internet das Coisas (FERREIRA; PAULA, 2018).

Azevedo (2017) realizou um estudo de caso aplicando ferramentas da indústria 4.0 em uma planta de tratamento de água, utilizando tecnologias habilitadoras e sendo visionário a respeito da transformação digital. Uma nova arquitetura baseada em 03 camadas (high level) foi proposta. Na camada 01 se utiliza os sistemas ciberfísicos e IoT, sendo estes responsáveis pela comunicação com as outras camadas. Na camada 02 ocorre a operação e o controle da planta, que pode ser de forma manual ou de forma automática, dependendo da decisão do operador. Nessa camada se encontram os dados para a decisão gerencial. Na camada 03 se encontram as aplicações com interação real-time no chão de fábrica e a reorganização conforme a demanda ou a condição climática.

Uma arquitetura baseada na indústria 4.0 foi criada para o tratamento de água, comparou-se a arquitetura tradicional com a nova arquitetura e os ganhos observados foram:

- 01- Utilização de dados históricos para prever necessidades, colaborando com toda a cadeia de suprimentos para atender a demanda;
- 02- A partir do local remoto, conseguir gerenciar as fontes de água e ter o controle e o uso definidos por processo automatizados;
- 03 - Integrar-se a fonte de dados não relacionados à água, tais como: governo, pesquisa e indústria, de uma maneira geral, para acompanhar os esforços de conservação e melhoria contínua da operação existente;
- 04- Por meio de uso de dashboards, aumentar a visibilidade das instalações de ativos e melhorar o desempenho e análise de dados;
- 05- Utilização de dados em tempo real sobre eventos climáticos para antecipar as mudanças na disponibilidade ou necessidade de recursos;
- 06- Propiciar aos consumidores um maior controle e visibilidade do consumo e dos recursos residencial e da cidade para direcionar esforços na conservação do recurso;
- 07- Utilização dos dados para descobrir melhorias nos procedimentos, e assim, proporcionar um melhor atendimento aos cidadãos;
- 08- Melhoria na precisão das leituras dos medidores de água com maior frequência.

De acordo com Azevedo (2017), a utilização da planta criada no estudo de caso poderia gerar benefícios, como alcançar o consumo consciente e a gestão de recursos hídricos. Podendo também ser modificada e adaptada para ser empregada em usinas de fornecimento de energia nuclear, petroquímica, entre outras indústrias.

A partir dos estudos mostrados, observa-se que a necessidade de automação na indústria de processo contínuo é crescente. Os processos produtivos nessas indústrias são complexos e requerem muitos mecanismos de controle para permitir respostas rápidas. Os fluxos da indústria de processo contínuo apresentam composições e concentrações dinâmicas, dadas às complexas reações químicas, influenciadas por inúmeras variáveis do processo. Além do mais, a indústria química necessita de redução de problemas de segurança, consequentes de vazamentos de substâncias tóxicas e inflamáveis. E os acidentes, mesmo os de menor porte, que envolvem apenas parte do processo, prejudicam a produtividade, devido seu elevado nível de interdependência e integração das fases do processo (SANTOS, 2019).

#### **4. CONCLUSÃO**

A indústria 4.0 está revolucionando todos os setores industriais, mesmo estando em uma fase de transição, já é possível identificar o uso de pilares tecnológicos em algumas empresas, tais como robôs, simulação, cibersegurança, entre outros. Esses processos automatizados trazem mais eficiência e segurança a toda cadeia produtiva. Contudo, as transformações trazidas pela quarta revolução industrial ainda são muito recentes, fazendo-se necessário uma busca maior para entender o poder e a capacidade dessas novas tecnologias.

A implementação desse novo modelo de indústria está sendo muito favorável, principalmente para empresas que terão maior poder de customização diante da manufatura ativada, gerando oportunidades de negócios que atendam às necessidades do mercado, conseguindo ofertar o produto ou serviço, de acordo com a demanda do cliente, em menos tempo, atingindo então um menor custo e gerando lucros para as empresas.

A crescente utilização do modelo fábrica inteligente por parte das indústrias, gerou bons resultados com a aplicação dessas tecnologias, aumentando a produtividade e a eficiência energética. Não há dúvidas da importância de investimentos na digitalização de toda uma cadeia de suprimentos para que se tenha destaque e uma vantagem competitiva no mercado.

Notou-se uma demanda significativa da utilização dos pilares da indústria 4.0 em vários estudos de caso, mostrando que essas novas tecnologias têm tudo para possibilitar o melhoramento dos processos industriais, sendo grandes aliados não apenas da produtividade,



como também na redução de acidentes e na preservação do meio ambiente. Portanto, se faz necessário que as indústrias adotem medidas sustentáveis na utilização de recursos e na emissão de resíduos, visto que uma grande demanda de serviços e produtos pode trazer grandes impactos ambientais.

A indústria química ainda tem um longo caminho a percorrer até se adaptar as tecnologias ligadas à indústria 4.0. A adoção desse modelo digital de indústria ainda é difícil, pois faltam investimentos, mão de obra qualificada e o custo de insumos e energia são elevados. Faz-se necessário estudos mais direcionados a utilização das ferramentas 4.0 e a aplicação dessas tecnologias em processos químicos.

Em relação à indústria química brasileira, o crescimento da utilização dessas tecnologias em âmbito mundial pode agilizar o processo de modernização da produção química, pressionando as empresas a estarem de acordo com as exigências do mercado em busca de uma maior competitividade. Sendo assim, faz-se necessário o aumento de investimentos e recursos direcionados a esse novo modelo de indústria para que o país possa se igualar a nível global.

## REFERÊNCIAS

- ABIQUIM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA QUÍMICA. Perspectivas para o setor químico no Brasil. 2018.
- ALBERTIN, M.R.; ELIENESIO, M. L. B.; AIRES, A dos. S. Desafios e oportunidades da indústria 4.0 para o Brasil. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27.*, Joinville. 2017. **Anais...** Joinville. 2017. p. 2-14.
- ASSAD, R. E.; SILVA, A. F.; MACHADO, M. A. S.; JAMIR, T. **Desafios em cloud computing: armazenamento, banco de dados e big data.** Universidade Federal de Pernambuco. 2012.
- ALBERTIN, M. R.; ELIENESIO, M. L. B.; AIRES, A dos. S.; PONTES, H. L. J.; ARAGÃO JUNIOR, D. P. Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24.*, Bauru. 2017. **Anais...** Bauru. 2017. p. 2 – 13.
- ANTUNES, A. M. de S; GALERA, P.; RUBINSTEIN, L. Prospectiva para a indústria química do Brasil: uma visão para o futuro. **Economia & Tecnologia** – ano 07, Vol. 26. 2011.

- AZEVEDO, M. T. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil**. 2017. Universidade de São Paulo (Tese de Doutorado). São Paulo. 2017.
- AZEVEDO, E. P. et al. Desenvolvimento de hardware para controle de armazenamento de produtos químicos utilizando ferramentas de qualidade na indústria 4.0. **RACRE – Revista de Administração**, v.20, n.24, jan./dez. 2020.
- AZEVEDO, V.; TADEU, V. Intensificação de processos e perspectivas da indústria química 4.0. Universidade Federal de Minas Gerais. 2020.
- BORLIDO, D. J. A. **Indústria 4.0 – Aplicação a sistemas de manutenção**. 2017. Universidade do Porto (Dissertação de Mestrado). Porto. 2017.
- CARDOSO, D. A. L.; CHEBAR, I. E.; BELTRÃO, M. J. C. **Estudo das aplicabilidade de ferramentas da indústria 4.0 em uma planta de geração de energia da reforma do biogás**. 2018. Universidade Federal Fluminense (Trabalho de Conclusão de Curso). Niterói. 2018.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **CGEE**. Levantamento de informações sobre estudos existentes relativos à identificação de segmentos ou nichos com maior potencial para desenvolvimento tecnológico nacional; Nota Técnica. Brasília, DF: CGEE, 2020.
- CHIAÇA, M. R. M; ABRANTES, M. L. M de. **Agilidade dos processos na indústria 4.0**. Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz (Trabalho de Conclusão de Curso). São Paulo. 2020.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **CNI**. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016.
- ELIENESIO, M. L. B. **Panorama da indústria 4.0 no Brasil: principais tecnologias utilizadas e os desafios para a sua implementação**. 2018. Universidade Federal do Ceará (Trabalho de Conclusão de Curso). Fortaleza. 2018.
- FALCÃO, A. C. R. de A. **Sistematização dos pilares da Indústria 4.0: Uma análise utilizando revisão bibliográfica sistemática**. 2019. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Carlos. 2019.
- FERREIRA, S. C. R.; PAULA, G. M. Os primeiros impactos da indústria 4.0 sobre o setor de papel e celulose. P. 405-423. *In*: São Paulo: Blucher, 2018. ISSN 2357-7592, doi 10.5151/enei2018-23
- GALEMBECK, F. et al. Indústria química: evolução recente, problemas e oportunidades. **Química Nova**, Vol. 30, Nº.6, 1413-1419. 2007.

- GOMES, G. P.; SANTOS, W. P.; CAMPOS, P. S. Indústria 4.0: um novo conceito de gerenciamento nas empresas. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Nº.000140. 2018.
- GOMES, D. S. Inteligência artificial: conceitos e aplicações. **Revista Olhar Científico – Faculdades Associadas de Ariquemes**. Vol. 01, n.2, 2010.
- GUARIEIRO, L. L. N. et al. Eixos mobilizadores em química: um breve olhar quinze anos depois. **Química Nova**, Vol. 41, No. 10, 1226-1236. 2018.
- MATA, V da. S. et al. Indústria 4.0: a revolução 4.0 e o impacto na mão de obra. **Revista Ciências Exatas Tecnologia**, v. 13, n. 13, p. 17-22, 2018.
- MELO, R. **A indústria 4.0 e seus impactos**. 2020. Universidade Federal Rural do Semi-árido (Trabalho de Conclusão de Curso). Angicos. 2020.
- PASQUINI, T. C de. S. **Proposta de ferramenta para relacionar os princípios da gestão da qualidade aos pilares da indústria 4.0: a influência da indústria 4.0 na área da qualidade**. 2018. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Trabalho de Conclusão de Curso). Ponta Grossa. 2018.
- PATRUNI, G. H. M. **Os desafios e oportunidades da indústria química no Brasil perante a indústria 4.0**. Universidade Federal do Paraná (Trabalho de Conclusão de Curso). Curitiba. 2019.
- PINTO, R. C. **A formação do engenheiro químico no contexto da indústria 4.0**. 2020. Universidade Federal de São Carlos (Trabalho de Conclusão de Curso). São Carlos. 2020.
- ROMÃO, V. P. A.; GONÇALVES, M. M.; Realidade aumentada: conceitos e aplicações no design. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 1, p. 23-34, jan./jun. 2013.
- SANTOS, P. H. A. **Os desafios e benefícios da implantação das tecnologias da indústria 4.0 no setor químico de processo contínuo**. 2019. Universidade Federal do Paraná (Dissertação de Pós-Graduação). Curitiba. 2019.
- SANTOS, M.; MANHÃES, A. M.; LIMA, A. R. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil. *In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE*, 5., São Cristóvão. 2018. **Anais...** São Cristóvão. 2018. p. 317 – 329. ISSN 2447-0635.
- SOUSA, L. M. M. et al. Revisões da literatura: tipos, métodos e aplicações. **Rev Port Enf Reab**. 2018.
- SCALIZA, J. A. A. **Inovação aberta, cultura organizacional e desempenho inovador: análise nos setores químico e de tecnologia de informação**. 2020. Universidade Estadual Paulista (Tese de Doutorado). Bauru. 2020.

SILVA, N. R. **A indústria química no Brasil nos anos recentes, crises e oportunidades**. 2018. Universidade Federal de Uberlândia (Trabalho de Conclusão de Curso). Uberlândia. 2018.

SILVA, X. S. et al. A importância da aplicação das ferramentas da qualidade na indústria química para o aperfeiçoamento do consumo de oxigênio em etapa de pré-branqueamento de celulose. **RACRE – Revista de Administração**. V.20, N.24. Espírito Santo do Pinhal/SP. 2020.

SILVA, W. S.; LARAICH, O. A. R. **Indústria 4.0 nas empresas de produtos lácteos**. 2020. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (Trabalho de Conclusão de Curso). 2020.

STHEL, J. P. V.; LOUREIRO, R. B. **A engenharia química no contexto da indústria 4.0: estudo de um caso em uma usina de etanol**. 2018. Universidade Federal Fluminense (Trabalho de Conclusão de Curso). Niterói. 2018.

TYBEL, DOUGLAS. Tipos de revisão de literatura. Mar. 2018. Disponível em: [www.guiadamonografia.com.br/tipos-de-revisao-de-literatura/](http://www.guiadamonografia.com.br/tipos-de-revisao-de-literatura/). Acesso em: 23 de jun. de 2021.

YAMADA, V. Y.; MARTINS, L. M. Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo. **Revista Terra & Cultura**, v. 34, n. especial, 2018.