

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE  
CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A COLETA E CONTROLE  
DE INDICADORES OPERACIONAIS EM UMA ESTÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES**

**ALEXANDRE NOCERA MASSEI**

Trabalho de Graduação apresentado ao  
Departamento de Engenharia Química da  
Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Silva

São Carlos – SP  
**2022**

## BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Tit. Edson Luiz Silva, DEQ/UFSCar

Convidado: Prof. Dr. Talles Barcelos da Costa, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof. Tit. José Maria Correa Bueno, DEQ/UFSCar

Trabalho de Graduação apresentado no dia 01 de Setembro de 2022.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo aos meus pais Cláudia e Wagner, e a minha irmã, Maria Julia, por todo apoio que sempre tive e que foi cada vez mais intensificado durante a faculdade, sem vocês nada disso seria possível.

Agradecer também aos meus colegas, Mariana P., Mariana S., Leonardo, Beatriz, Valentina, Reginaldo, Pedro, Pablo e Gustavo e a tantos outros, que não caberiam nesse agradecimento, por todo crescimento pessoal e profissional que tivemos juntos durante esses anos de graduação.

Um agradecimento especial á EQ Júnior, por ter contribuído tanto para minha formação e ser parte essencial de quem sou hoje.

Ao DEQ – UFSCAR, agradeço por proporcionar uma graduação repleta com as mais diversas experiências e formações acadêmicas e profissionais.

Ao Professor Dr. Edson (Tininho!), meu orientador, e que além de ser peça chave na orientação durante o trabalho de graduação desempenhou um importante papel no início da minha carreira profissional, obrigado por todo companheirismo ao longo dos anos.

Por fim, um agradecimento a Ingredion, que foi fundamental para a construção desse trabalho e também por toda formação profissional que tive como estagiário e continuarei tendo no decorrer do tempo.

## RESUMO

Atualmente, nas indústrias brasileiras, é comum encontrar procedimentos de rotina e controle de dados realizados em papel, ou de um modo offline. Com o contexto da COVID-19, o número de colaboradores trabalhando presencialmente nas fábricas diminuiu, tanto pela pandemia como pelo modelo híbrido de trabalho. Com isso, o acesso a informação dessas rotinas, como a coleta de indicadores operacionais, e a execução das mesmas foi prejudicado. Para resolver esse problema muitas empresas estão adotando estratégias baseadas em conceitos e aplicações da indústria 4.0 com o objetivo de transformar seus procedimentos digitais e descentralizados, com o menor esforço humano possível. A indústria 4.0 pode ser explicada como uma revolução na conectividade da fábrica, associando pessoas, máquinas, informações e conhecimento. Uma fábrica mais conectada é capaz de tomar decisões de maneira mais rápida, e de maneira mais assertiva, já que se baseará em dados mais confiáveis e tratados em tempo real, apenas com esforço computacional. Com maior eficiência e qualidade no trabalho operacional, o trabalho estratégico pode entrar mais em foco. Neste trabalho foi explorado um estudo de caso, sobre como a estação de tratamento de água e efluentes da Ingredion em Mogi Guaçu – SP foi capaz de utilizar conceitos comuns da indústria 4.0 para transformar um procedimento de rotina, a coleta de indicadores operacionais, que era feito de forma totalmente manual e em papel, para um processo automático, digital e descentralizado. Essa abordagem traz novos insights para a expansão da indústria 4.0 no Brasil, tanto com a visão humana das mudanças que aconteceram, como a visão técnica de como essas mudanças impactam o processo como um todo. Desta forma, o objetivo do trabalho foi de apresentar insumos e resultados de um exemplo real da aplicação da indústria 4.0 para solucionar um problema comum, a coleta de indicadores operacionais diários da produção, bem como a solução para digitalização desses dados e futura exibição dos mesmos de maneira descentralizada e ágil, construídos a partir do estágio do autor. No trabalho, o qual seguiu a metodologia de apresentar os principais conceitos utilizados para posterior aplicação prática com o estudo de caso, pode-se evidenciar as melhorias apresentadas após a implantação do projeto, como economia no tempo para coleta e compilação dos dados, trazendo uma melhoria de no mínimo 2 horas semanais nestes aspectos, e abrindo espaço para diversas análises que não eram feitas.

## ABSTRACT

Currently, in Brazilian industries, it is common to find routine procedures and data control performed on paper, or in an offline mode. With the context of COVID-19, the number of employees working face-to-face in factories has decreased, both because of the pandemic and the hybrid working model. With this, access to information in these routines, such as the collection of operational indicators, and the execution of these routines has been hampered. To solve this problem many companies are adopting strategies based on Industry 4.0 concepts and applications with the aim of transforming their procedures digital and decentralized, with as little human effort as possible. Industry 4.0 can be explained as a revolution in factory connectivity, associating people, machines, information, and knowledge. A more connected factory is able to make decisions faster, and in a more assertive way, since it will be based on more reliable data, processed in real time, with only computational effort. With greater efficiency and quality in operational work, strategic work can come more into focus. In this paper a case study was explored, on how Ingredion's water and wastewater treatment plant in Mogi Guaçu - SP was able to use common Industry 4.0 concepts to transform a routine procedure, the collection of operational indicators, which was done in a totally manual and paper-based way, to an automatic, digital and decentralized process. This approach brings new insights for the expansion of Industry 4.0 in Brazil, both with the human view of the changes that took place, and the technical view of how these changes impact the process as a whole. In this way, the objective of the work was to present inputs and results of a real example of the application of Industry 4.0 to solve a common problem, the collection of daily operational indicators of production, as well as the solution for the digitalization of these data and future display of them in a decentralized and agile way, built from the author's internship. In the work, which followed the methodology of presenting the main concepts used for subsequent practical application with the case study, it can be evidenced the improvements presented after the implementation of the project, such as savings in time for data collection and compilation, bringing an improvement of at least 2 hours a week in these aspects, and opening space for various analyses that were not done.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
SUMÁRIO .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	8
LISTA DE QUADROS .....	8
1- INTRODUÇÃO .....	9
1.1- Objetivos.....	11
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1- Indústria 4.0 – O que é e como surgiu .....	12
2.2- Principais Conceitos da Indústria 4.0.....	13
2.3- A Indústria 4.0 e a sustentabilidade .....	17
2.4- Contexto brasileiro da Indústria 4.0.....	19
2.5- A água e seus parâmetros de qualidade .....	22
2.6- Definição de efluentes e sua legislação.....	24
2.7- O tratamento de água e efluentes .....	25
3- METODOLOGIA .....	32
4- ESTUDO DE CASO: .....	33
4.1- A INGREDION .....	33
4.2- Estudo de caso: ETAE .....	34
5- RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
5.1- Visão dos Engenheiros.....	36
5.2- A Indústria 4.0 e digitalização para solução do problema na ETAE .....	38
5.3- A solução sendo colocada em prática .....	42
5.4- <i>Machine Learning</i> para o Controle de Processos.....	47
6- CONCLUSÕES.....	49
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>N° Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b>	Adoção de tecnologias pelas indústrias brasileiras em 2021	10
<b>Figura 2.</b>	O caminho da indústria até aqui	13
<b>Figura 3.</b>	Formas de aprender no Machine Learning	15
<b>Figura 4.</b>	Elementos da indústria 4.0	17
<b>Figura 5.</b>	Esquema da indústria 4.0 no impacto ambiental	18
<b>Figura 6.</b>	Aumento da produtividade industrial entre 2000 e 2016	20
<b>Figura 7.</b>	Pesquisa McKinsey sobre a indústria 4.0	21
<b>Figura 8.</b>	Consumo de água no Brasil 2006 x 2010	22
<b>Figura 9.</b>	Exemplo de gradeamento	26
<b>Figura 10.</b>	Etapas do tratamento físico-químico	27
<b>Figura 11.</b>	Fluxograma lodo ativado	28
<b>Figura 12.</b>	Etapas resumidas da digestão anaeróbia	29
<b>Figura 13.</b>	Funcionamento Reator UASB	31
<b>Figura 14.</b>	Gráfico de Pareto: Problemas dos FCA's no papel	37
<b>Figura 15.</b>	Interface inicial para o Power Apps	44
<b>Figura 16.</b>	Interface de preenchimento de dados	45

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

### LISTA DE QUADROS

Nº Quadro	Título	Pág.
<b>Quadro 1.</b>	Características da indústria 4.0 x Impacto ambiental	19
<b>Quadro 2.</b>	Medidas quantitativas para efluentes	25
<b>Quadro 3.</b>	Requisitos dos organismos para digestão anaeróbia	30
<b>Quadro 4.</b>	Reflexos da Indústria 4.0 na ETAE	42
<b>Quadro 5.</b>	Problemas e as soluções propostas	45

## 1- INTRODUÇÃO

Indicadores operacionais estão presentes nas mais diversas empresas, e tem por objetivo fazerem uma análise a curto prazo do andamento de determinado processo operacional da empresa, contribuindo para os objetivos estratégicos da companhia, medindo o desempenho de cada pequena etapa (Doo, 2019). No caso das indústrias, isso não é diferente, as quais possuem também os indicadores operacionais de processo, que por consequência buscam medir o desempenho do processo industrial.

Durante o processo produtivo industrial, alguns indicadores operacionais são coletados, como por exemplo a temperatura de determinado equipamento ou corrente de produto, o tempo levado para determinada atividade, a umidade relativa de determinada corrente de processo, e essa coleta pode ser de maneira automática ou manual, a depender do tipo de atividade realizada e também do tipo de processo que se está a trabalhar.

No caso de uma Estação de Tratamento de Água e Efluentes (ETA/E) privada focada em tratar a água e efluentes de uma indústria de alimentos já pré-estabelecida, além de ter que cumprir com os requisitos de produção e de qualidades alimentícias, ainda existem as normas técnicas da CETESB e do CONAMA, tornando os indicadores operacionais ainda mais importantes.

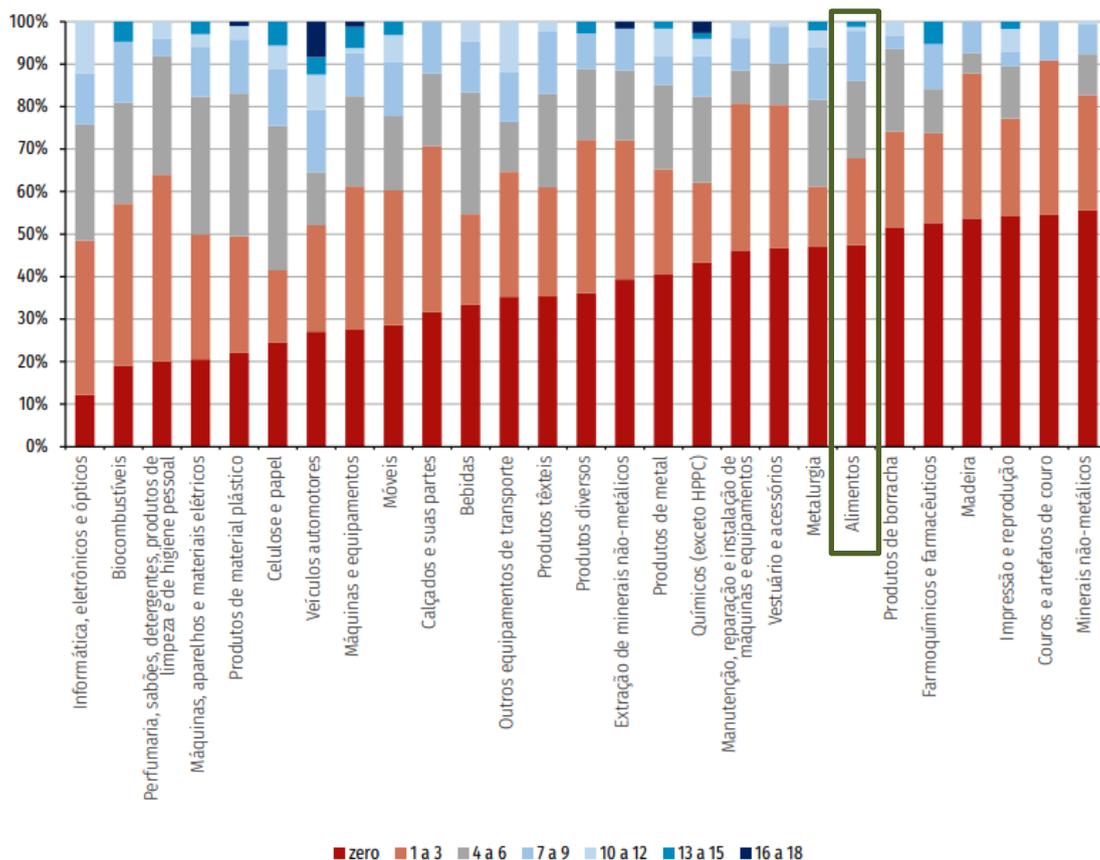
Os indicadores operacionais de processo são parte importante para a gestão de processos e fator determinante para o sucesso de uma indústria, não só pelo fato de ter um controle mais preciso, mas também com um mercado cada vez mais competitivo, a maior eficiência nessa gestão pode ser essencial para se obter vantagens competitivas (Cardoso, 2009). Pensando nisso, é importante ter bem definido como efetuar o monitoramento, periodicidade, criticidade e valores aceitáveis de indicadores, gerando um banco de dados para avaliar linhas de tendência e traçar o futuro do processo (Cardoso, 2009). No entanto, no outro lado da balança existe o tempo utilizado para essa atividade, desde a operação para realizar a coleta e compilação dos dados, até para engenheiros e coordenadores realizarem as análises e apontamentos necessários para melhoria contínua do processo.

Em uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), denominada Sondagem da Indústria 4.0, mostrou que em 2016 mais da metade (52%) das indústrias brasileiras não possuíam sequer uma forma de digitalização em suas fábricas, significando que o processo de coleta e análise dos indicadores operacionais (e tantas outras rotinas), eram feitas de forma totalmente manual e dependência humana. Com a pandemia de COVID-19 e as normas do Ministério da Saúde de distanciamento social, esse número em 2021 passou para cerca de 31% das indústrias, um número melhor, mostrando a adaptação das empresas em meio

a dificuldade, mas ainda com grande oportunidade de melhoria.

Na pesquisa em 2021 foram considerados 18 tipos de tecnologias diferentes, desde conceitos simples até conceitos complexos. Um dos resultados obtidos foi que apesar do alto nível de adoção de alguma tecnologia, 26% delas utilizam apenas de uma a três variedades de tecnologia e apenas 7% delas utilizam mais de dez variações diferentes, mostrando que esse processo ainda é embrionário. Apesar dos notáveis benefícios como aumento de produtividade, melhoria na qualidade dos produtos e diminuição nos custos de produção, de acordo com Samantha Cunha, gerente de política industrial da CNI, uma das barreiras para o amplo uso da digitalização é a falta de conhecimento das tecnologias pelas próprias empresas e a integração que as mesmas possuem entre elas. No caso das indústrias de alimentos, mesmo em 2021 um pouco menos da metade das indústrias ainda não possuem qualquer forma de tecnologia. Considerando as que ainda estão com participação embrionária (até 3 tecnologias) o número é de quase 70%, como pode ser observado na Figura 1. Com isso, grande parte das rotinas das indústrias seguem de forma manual.

**Figura 1.** Adoção de tecnologias pelas indústrias brasileiras em 2021



Nota: Setores ordenados pelo percentual de empresas que usa pelo menos uma tecnologia digital, do maior para o menor.

**Fonte:** Adaptado de CNI - Indústria 4.0 Cinco anos depois, 2022

Processos manuais trazem diversos gargalos para o dia-a-dia e podem diminuir o crescimento e produtividade da empresa. Entre os principais problemas causados pode-se citar, a lentidão dos processos, a maior chance de erros, já que o fator humano é bem ativo em rotinas manuais, além disso, a própria comunicação acaba por ser ineficiente (Ignaczuk, 2020). Problemas os quais a coleta e compilação de indicadores operacionais está sujeita da mesma forma como diversos processos manuais, afetando todos os benefícios anteriormente destacados.

De acordo com Schwab (2016), a tecnologia e a digitalização irão revolucionar tudo no ambiente de trabalho, e ainda, os mais otimistas afirmam que a tecnologia e inovação estão em um ponto de inflexão para desencadear um aumento de produtividade e crescimento econômico. Existem oportunidades para agregar mais tecnologia e automatização de processos, por isso, para resolver esse problema e garantir uma produção mais saudável e moderna, surge a proposta de se utilizar conceitos da indústria 4.0 para automatizar todo esse processo de coleta, tratamento e difusão dos indicadores operacionais na empresa. Como observado pela Figura 1, é um movimento ainda embrionário no país, e por isso, a utilização de conceitos mais simples da Indústria 4.0 se fazem necessários para amenizar toda a gestão de mudança e abrir portas, neste trabalho os conceitos abordados são de ferramentas já bem conhecidas no dia-a-dia, mas com o potencial pouco explorado, tanto para coleta como para análise de dados. No entanto, como mostrado pela CNI, uma das maiores dificuldades das empresas está em saber como utilizar a tecnologia de forma prática e a integração entre elas, por isso, nesse trabalho foi tomado como base, com o intuito de trazer experiências e exemplos reais para guiar futuros trabalhos e implementações da indústria 4.0, os avanços da Indústria 4.0 e da transformação digital que está sendo realizado pela Ingredion Brasil em sua estação de tratamento de água e efluentes (ETA/E) na planta de Mogi Guaçu – SP. Sendo esta transformação contribuindo diretamente para os parâmetros de qualidade de água e cuidados ambientais, pré-estabelecidos pelo CONAMA, CETESB e a ANA.

## **1.1 - Objetivos**

Os objetivos deste trabalho são o de com base em um estudo de caso trazer insumos e os resultados que a indústria 4.0 teve na melhoria do processo de coleta de indicadores operacionais utilizando ferramentas simples, mas que são a porta de entrada para a transformação digital. Além disso, um objetivo secundário foi a disseminação sobre a aplicação da indústria 4.0, fornecendo insumos para as indústrias brasileiras.

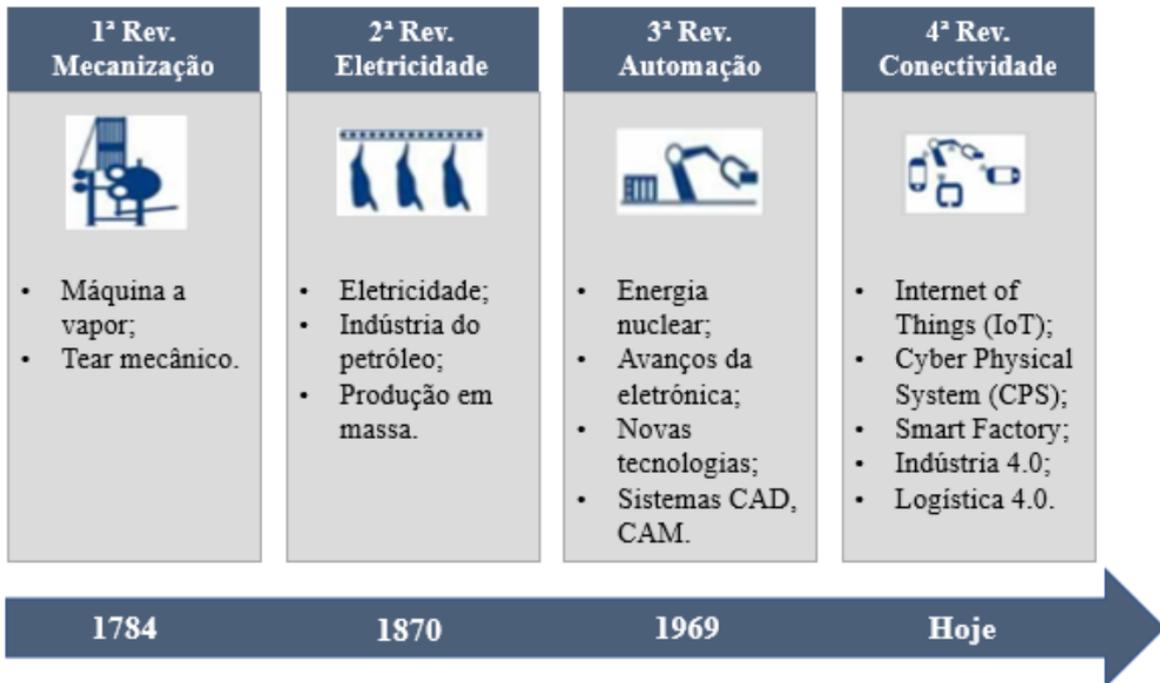
## **2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Indústria 4.0 – O que é e como surgiu**

Antes de compreender o conceito da indústria 4.0, é importante conhecer o caminho da indústria no mundo até os dias atuais. A chamada primeira revolução industrial teve início na Inglaterra no século XVIII e foi motivada para suprir a escassez de produtos manufaturados e artesanais, em que as primeiras máquinas foram utilizadas para automatizar partes da produção. Em sequência a segunda revolução industrial já teve fatores como a produção em massa, a divisão de trabalho em etapas, tudo isso com o auxílio da maior produção de aço, e a integração da energia elétrica no processo. Um grande marco da segunda revolução industrial é a redução do custo de produção e conseqüentemente o preço final que o consumidor pagava, tornando os produtos mais acessíveis. O principal exemplo desse tipo de indústria é o modelo criado por Henry Ford. Por fim, a terceira revolução industrial, iniciada no Japão começou a inserir os conceitos de tecnologia da informação e de produção enxuta, marcando o início da automação industrial, visando aproveitar todos os recursos disponíveis, com alta qualidade e diminuindo o desperdício, um grande exemplo dessa produção é a Toyota. (SANTOS, 2018)

Já a indústria 4.0 ou a quarta revolução industrial, esta teve seu termo cunhado pela primeira vez na Alemanha em 2011 e representa uma evolução dos conceitos anteriormente aplicados nas indústrias, buscando um avanço em tempo real da troca de informações entre o chão de fábrica e os responsáveis pela tomada de decisão, além de digitalizar e automatizar os processos a ponto da autoregulação ser o padrão. Inovação, eficiência e customização são as palavras-chaves para definir a indústria 4.0 (SANTOS, 2018). Na Figura 2 apresenta-se um resumo de como foi o caminho industrial até os dias atuais e quais as inovações que a indústria 4.0 está trazendo.

**Figura 2.** O caminho da indústria até os dias atuais



**Fonte:** Adaptado de Santos, 2018

## 2.2 - Principais Conceitos da Indústria 4.0

De acordo com Sacomano (2018), a indústria 4.0 está intimamente ligada com o processo de digitalização que acompanha o século XXI. A quantidade de dados gerada tanto em processos industriais como em processos comerciais é muito densa. Com o auxílio da indústria 4.0, o refino e a utilização correta destes dados se torna cada vez mais fácil e prático para gerar insights para as decisões do dia-a-dia. A indústria 4.0 pode ser dividida em alguns elementos formadores, que são os elementos de base ou fundamentais, os elementos estruturantes e por fim, os elementos complementares. Nos tópicos subsequentes, referenciado pelo livro “Indústria 4.0 – Conceitos e Fundamentos (2018)”, escrito por Sacomano et. al (2018).

### 2.2.1 - Elementos de Base ou Fundamentais

A base da indústria 4.0 é pautada em alguns elementos que precedem toda aplicação industrial da mesma, e não por acaso, também foram utilizados para a pauta deste trabalho. Esses elementos são os sistemas ciber físicos (CPS), a internet das coisas (IoT) e a internet dos serviços (IoS). (SACOMANO, 2018)

Os sistemas ciber físicos (CPS) são uma forma de implementar sistemas de informação e automação, para garantir uma troca de informação em tempo real, execução de comandos a

distância e possíveis simulações do processo sem de fato realizar alguma mudança em campo no processo. Normalmente, os CPS são sensores e atuadores, que controlados por um software, são capazes de coletar a informação necessária do processo em campo físico e transmitir ao campo virtual de maneira instantânea. (SACOMANO, 2018).

A internet das coisas (IoT), por sua vez, é a integração em internet com os mais diversos meios. Enquanto convencionalmente os agentes emissor e transmissor de informação são pessoas, no IoT, esses agentes são equipamentos que utilizam a internet como canal de comunicação, também chamados de “smart products” (SACOMANO, 2018).

Finalizando os elementos base, existe também a internet dos serviços (IoS), que de forma simples é a divulgação e utilização de algum serviço interno ou externo da empresa por meio da internet. (SACOMANO, 2018).

Realizando a integração desses 3 elementos base, uma maneira simples de visualizar o processo industrial seria com a coleta instantânea e em tempo real dos dados (CPS), com sua divulgação na internet para todos que tem acesso (IoT) e com a integração de algum serviço digital, como o Power BI ou o Power Automate (ferramentas da Microsoft), representando o IoS.

### **2.2.2 - Elementos Estruturantes**

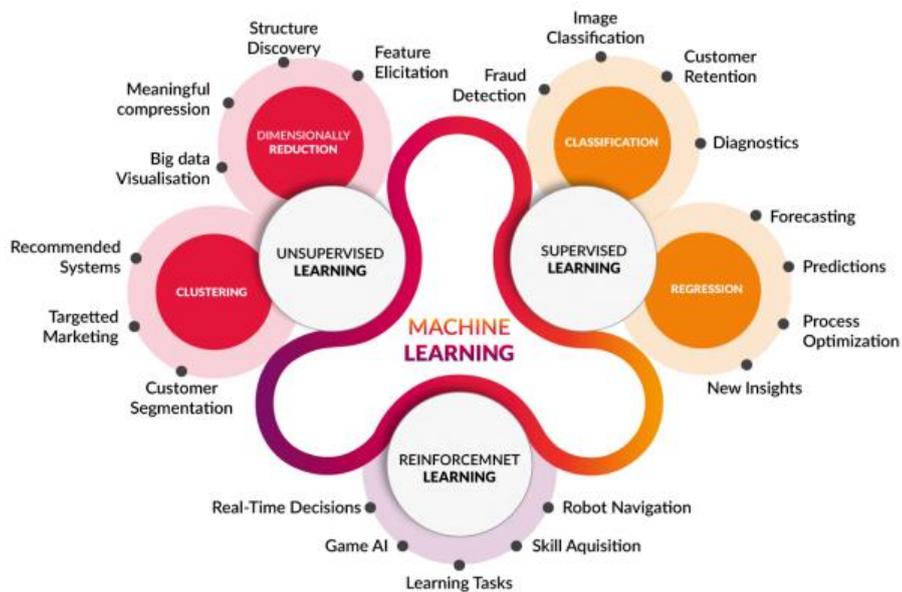
Os elementos estruturantes são as tecnologias e análises empregadas para o funcionamento da indústria 4.0. (SACOMANO, 2018). Por esse motivo e sua importância no presente trabalho, foi dado um enfoque maior a esses elementos.

O primeiro conceito a se abordar é a automação e comunicação máquina-a-máquina (M2M) no contexto industrial. A automação é um conceito que vem do latim “*automatus*” e significa “mover por si só”, ou seja, a ideia é que em cenários ideais não seja necessário a intervenção humana na máquina para que o processo produtivo ocorra e é o primeiro passo para se pensar em indústria 4.0. Dando continuidade, a M2M na produção é a capacidade de máquinas ou equipamentos realizarem a troca de informação entre si, podendo essas informações serem monitoradas também por uma pessoa de interesse, processo chamado de comunicação máquina-homem (M2H). Esses conceitos são essenciais para que os trabalhadores da fábrica tenham noção exata da produção sem necessitar avaliar equipamento por equipamento e para produções mais especializadas onde o produto final é de alto valor agregado. O próprio cliente pode acompanhar em que etapa está seu pedido. Desta forma, o controle de processos e planejamento da produção é facilitado, já que as informações estarão mais claras, com isso, as atividades de rotina são diminuídas e o esforço pode ser direcionado a uma atividade mais estratégica. Além disso, mas pode-se programar até sistemas de

comunicação M2M e M2H para identificar falhas de equipamento e acionar a equipe de manutenção. (SACOMANO, 2018). Não parando por aí, a M2M pode-se interligar com outro conceito já visto que é a internet das coisas, podendo tornar toda essa interface de modo online para alguém de tomada de decisão que não esteja na fábrica, contexto que foi muito preocupante durante a COVID-19.

Inteligência artificial (IA) e *machine learning* são dois conceitos que caminham lado-a-lado. O primeiro deles, a IA, provê uma solução na qual com o auxílio de várias tecnologias como redes neurais, algoritmos e sistemas de aprendizados, permite a um ser não vivo simular as capacidades humanas ligadas a inteligência e raciocínio. Por isso, quando aplicado a processos produtivos, o *machine learning* e a IA são tão correlatos, uma vez que, utilizam a mesma ideia, determinando como a máquina irá aprender e simular as ações que um ser humano teria para controlar e otimizar os processos, a partir da identificação de padrões e antecipar problemas e prover soluções. Um exemplo, seria a predição de que um KPI de produção iria atingir valores fora de especificação pois a máquina identificou um valor fora dos padrões em uma outra máquina (IRONHACK, 2019). A Figura 3 apresenta uma visão global de como o machine learning utiliza vários pontos da indústria 4.0 para melhorar processos.

**Figura 3.** Formas de aprendizado no Machine Learning



**Fonte:** Adaptado de Ironhack, 2019

Um outro termo que está relacionado com o *machine learning* e por consequência a inteligência artificial, é o de *deep learning* que seria um passo mais profundo de *machine*

*learning*, onde o equipamento já é capaz de estruturar algoritmos para que seja possível criar redes neurais artificiais. Nesse caso, a própria máquina consegue definir se atingiu êxito ou falha em sua predição e sua atividade, o que antes ainda necessitava de interferência humana. (IRONHACK, 2019).

Por fim, abordando 3 conceitos interligados, que são o Big Data, Data Analytics e a computação em nuvem. O Big Data, de maneira simples, é a consideração que com todos os conceitos aplicados e o constante monitoramento por novas tecnologias. O volume gerado de dados é elevado, os quais quando utilizados corretamente aprimoram a gestão e tomada de decisão da companhia. Por consequência, o Data Analytics é o nome dado para a análise de todos esses dados provenientes do Big Data. Para essa análise, existem modelos mais simples, desde um Power BI, até mais complexos, como os próprios modelos de *machine learning*. Com isso, pode ser visualizada uma pirâmide, na base tendo os dados, depois a informação que os dados fornecem e no topo da pirâmide o conhecimento gerado, que de fato será utilizado para melhorias no processo produtivo. E o auge desta coleta de informação é a garantia que ela não esteja centralizada, mas sim disponível para todos que devem ter acesso, esse processo acontece pela computação em nuvem, ou seja, disponível na internet. (SACOMANO, 2018).

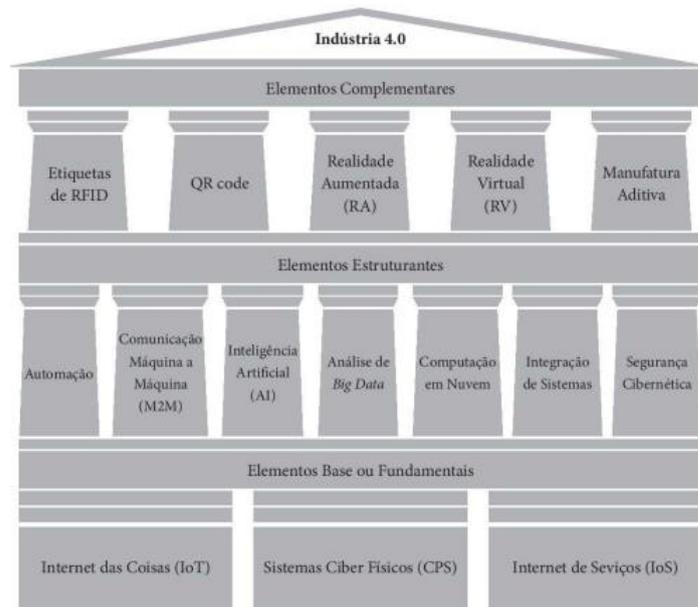
### **2.2.3 - Elementos complementares**

Os elementos complementares podem ser vistos como acessórios aos conceitos já explicados da indústria 4.0, potencializando seus resultados. Como na proposta deste trabalho esses conceitos não possuem muita prática, não foi entrado com muito detalhe em seus conceitos.

Algumas das ideias complementares mais conhecidas na indústria 4.0 são as etiquetas de rádio frequência (RFID), que quando se fala em logística essas possuem uma utilidade importante. Por exemplo, na agilidade no processo de identificação de peças ou produtos que saem do estoque das fábricas, podendo ser mapeadas de forma digital pela cadeia de suprimentos, semelhante a isso, outra tecnologia que pode ser empregada para difusão de informação e mapeio de materiais é o próprio QR Code que hoje já é muito difundido no cotidiano de praticamente todas as áreas. (SACOMANO, 2018)

Por fim, a realidade virtual/aumentada, e também as impressoras 3D, que por mais que em contexto no Brasil ainda seja algo muito embrionário, em algumas localidades do mundo já possui aplicações práticas (SACOMANO, 2018). A Figura 4 apresenta uma visão geral de como todos esses elementos se comportam como alicerces para o crescimento da modernidade na indústria 4.0.

**Figura 4.** Elementos da indústria 4.0



**Fonte:** Adaptado de Sacomano et. al, 2018

### 2.3 - A Indústria 4.0 e a sustentabilidade

Uma vez que o trabalho reflete o uso da Indústria 4.0 para melhoria de processos relacionados a uma estação de tratamento de efluentes, foi estudado o impacto da indústria 4.0 na sustentabilidade. A sociedade atual almeja uma melhora na qualidade de vida e a indústria tem um papel importante nesse processo, isso devido aos produtos e condições de trabalho, no entanto o meio ambiente tem um histórico de ser deixado de lado nesse contexto. (SACOMANO, 2018).

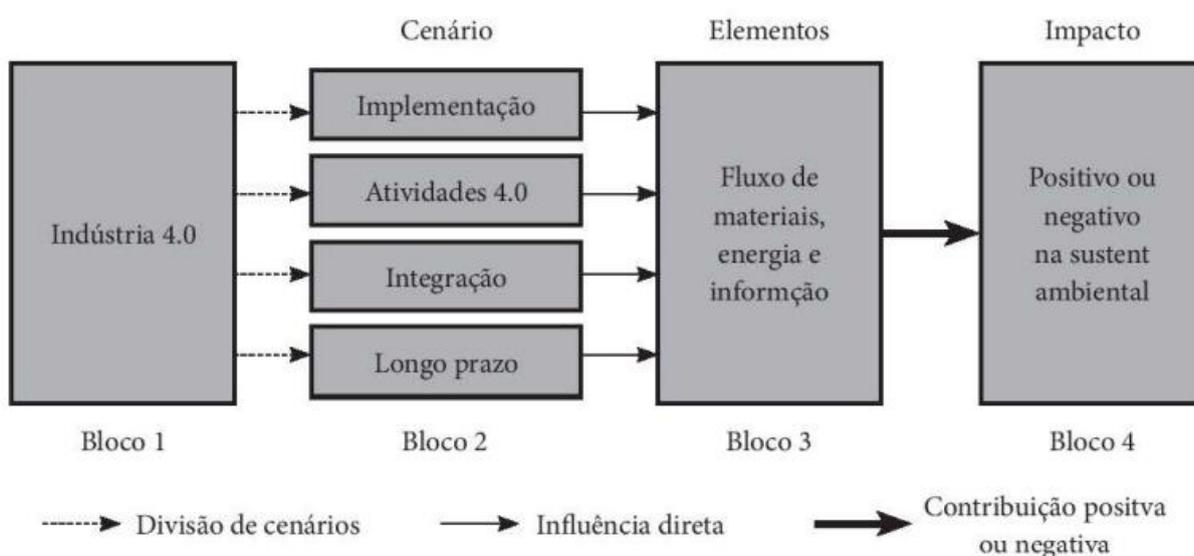
Esse processo de melhoria na qualidade de vida vem se modificando ao longo do tempo por uma exigência tanto da sociedade como do governo de uma mudança de pensamento das indústrias para uma produção sustentável economicamente, ambientalmente e socialmente. No setor industrial, apenas visar o lucro leva a desigual distribuição de riquezas, uso de trabalho humano em condições que não o dignificam e uso e abuso do meio ambiente em condições insustentáveis. (SACOMANO, 2018).

Pensando nisso, a indústria 4.0 atua fornecendo a tecnologia e integração suficiente para suprir a necessidade do mercado de garantir uma produção sustentável. Para deixar claro, o objetivo da indústria 4.0 não é fornecer soluções para os problemas ambientais, mas sim aumentar a produtividade, no entanto, com esse aumento da produtividade a partir da maior

transmissão de informações, também é possível abordar as questões ambientais de forma mais simplificada, que já é uma demanda do mercado. (SACOMANO, 2018).

Para avaliar o impacto ambiental, o livro “Indústria 4.0 Conceitos e Fundamentos” (Sacomano et al., 2018) estruturou uma linha de pensamento relacionando os cenários da indústria 4.0 e previsões para o futuro visando analisar seu impacto ambiental. Tal estrutura pode ser visualizada na Figura 5.

**Figura 5.** Esquema da indústria 4.0 no impacto ambiental



**Fonte:** Adaptado de Sacomano et. al, 2018

Entrando em detalhe na Figura 5, o Bloco 1 apresenta os conceitos virtuais e reais da indústria 4.0, o Bloco 2 mostra em que a indústria 4.0 está envolvida na produção, sendo estes a implementação de fato. Depois as atividades pós-implementação, qual integração com o meio ambiente e os efeitos a longo prazo dessa integração. Dando sequência, o Bloco 3 é um agrupamento dos elementos da indústria 4.0 que fazem referência à sustentabilidade, e por fim, no Bloco 4 há a identificação dos impactos. (SACOMANO, 2018)

No Quadro 1 abaixo, pode-se avaliar uma aplicação da Figura 5 em forma de exemplos reais já experimentados pelas indústrias e alguns prognósticos para o futuro.

**Quadro 1.** Características da indústria 4.0 x Impacto ambiental

<b>Características</b>	<b>Tendência</b>	<b>Impacto ambiental</b>
Necessidade de dispositivos eletrônicos	Aumento da demanda de terras raras, lítio, etc	Negativo
Monitoramento e controle	Informações sobre fluxo de matéria e energia	Positivo
Informação integrada vertical e horizontalmente	Informações sobre fluxo de matéria e energia, ao longo do ciclo da vida	Positivo
Software e algoritmos de otimização	Controles sobre uso de matéria e energia	Positivo
Inovação	Adoção de materiais leves, manufatura aditiva	Positivo
Novos modelos de negócio	De produtos para serviços	Positivo
Descentralização	Logística otimizada, menor deslocamento	Positivo
Produtos customizados	Maio consumo Consumo focando função	Negativo Positivo

**Fonte:** Adaptado de Sacomano et. al, 2018

#### **2.4 - Contexto brasileiro da Indústria 4.0**

É importante entender também como o contexto da indústria 4.0 está relacionada no Brasil, uma vez que o Brasil historicamente apresenta déficits em índices de desenvolvimento profissional e formal, tendendo a apresentar dificuldades em aderir a inovações e novas tecnologias para produção, ainda mais que países mais desenvolvidos, de acordo com o Estudo Indústria 2021/CNI (Confederação Nacional da Indústria), países como os Estados Unidos, China, Japão e Alemanha realizaram investimentos acima da casa das centenas de bilhões de dólares em inovação em 2017 com o objetivo de assumir a ponta no desenvolvimento da indústria 4.0. Não só isso, mas além da carência em inovação e formação de profissionais para adotar e ampliar a indústria 4.0, a CNI também constatou que o aumento da produtividade industrial brasileira foi pouco expressivo quando comparada aos outros países parceiros, como pode ser observado na Figura 6.

**Figura 6.** Aumento da produtividade industrial entre 2000 e 2016



**Fonte:** Adaptado de CNI Indústria 2027 – Riscos e Oportunidades para o Brasil Diante das Inovações Disruptivas, 2017

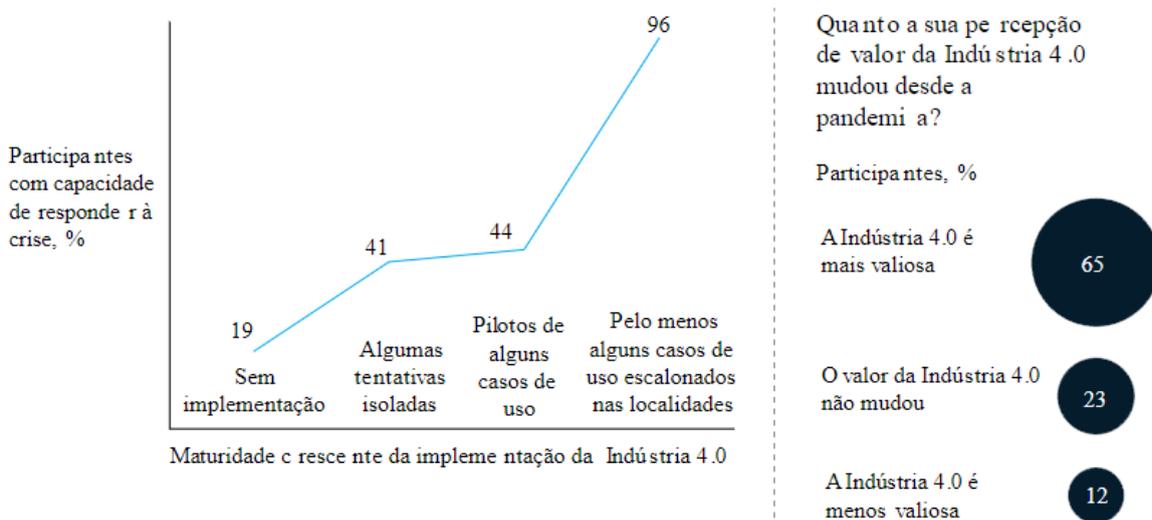
Com isso, pela conclusão da CNI o Brasil desde o início por fatores históricos já larga em defasagem quando se trata da quarta revolução industrial, sendo os focos principais a serem superados a definição de uma estratégia para a melhoria da formação profissional e o aumento no nível de pesquisas.

#### **2.4.1 - O contexto da Indústria 4.0 no COVID-19**

Nos últimos anos, em contexto mundial as indústrias foram afetadas pela pandemia de COVID-19, mudando ambientes, com funcionários sendo levados a ficarem em casa e a digitalização passou por seu maior teste até hoje. Na análise feita pela McKinsey, as empresas que tinham seu projeto de implantação digital em larga escala saíram em vantagem, e um sinal de alerta foi emitido as empresas que ainda não começaram esse processo. Na Figura 7 abaixo, mostra-se parte dos resultados dessa pesquisa:

**Figura 7.** Pesquisa McKinsey sobre Indústria 4.0

As empresas com implementação de Indústria 4.0 mais madura afirmam ter uma maior capacidade de responder à crise.



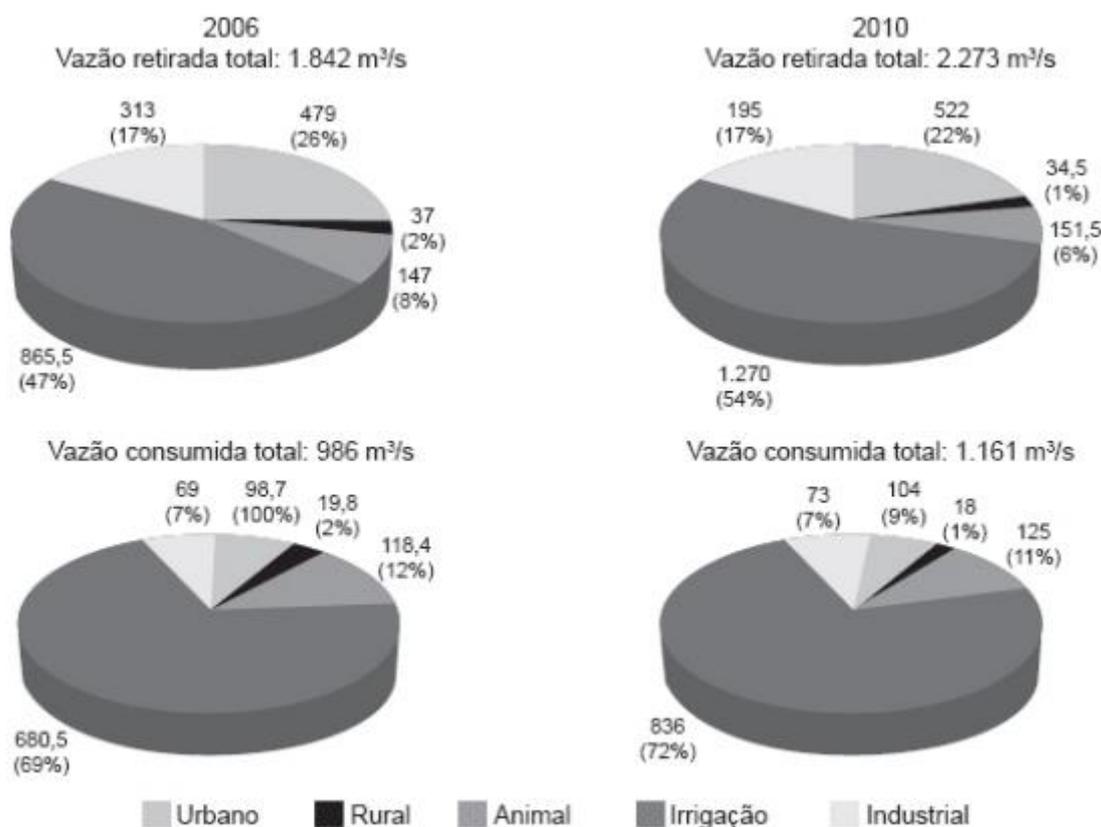
**Fonte:** Adaptado de Agrawal, McKinsey, 2021

## 2.5 - A água e seus parâmetros de qualidade

Partindo dos conceitos da indústria 4.0, deve-se também compreender onde ela será implantada, conhecendo seu processo. Mas antes de compreender sobre a estação de tratamento de água e efluentes deve-se primeiramente entender seu componente principal, a água. O crescimento da população, expansão das atividades agrícolas e industriais além da contínua exploração dos recursos naturais por exemplo através da mineração, vem ameaçando a disponibilidade de água e deteriorando sua qualidade. Por isso, o tratamento da água antes de retornar ao ambiente e para seu reuso torna-se cada vez mais importante.

Na Figura 8 é possível analisar o consumo de água brasileiro comparando os anos de 2006 e 2010, bem como em que área da economia essa água foi utilizada:

**Figura 8.** Consumo de água no Brasil 2006 x 2010



**Fonte:** Adaptado de MASPS – Relatório Conjuntura ANA, 2013

A água é fundamental para a existência dos seres vivos, e por isso, sua qualidade também deve ser medida e garantir que todos os seus usos, tanto econômicos quanto sociais sejam de forma sustentável.

Abordando o âmbito industrial, de atual interesse, tem-se de acordo com a UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) no relatório “Qualidade da Água para o Ecossistema e o Bem-Estar Humano” publicado em 2008, que a indústria afeta a qualidade da água nas seguintes características: sedimentação, eutrofização, poluição térmica, oxigênio dissolvido, acidificação, salinização, contaminação por metais pesados, mercúrio, toxinas não metálicas e hidrocarbonetos. Como pode-se observar os efluentes industriais afetam uma gama de possibilidades de poluição, por isso é essencial manter um tratamento adequado.

Abaixo, pode-se ter uma visualização de parte dos padrões levados em conta para definição da qualidade do lançamento de efluentes em recursos hídricos e sua sua origem, ou seja, se é uma origem, físico-química, microbiológica, biológica ou de nutrientes.

(BITTENCOURT, 2014)

- Físico – Química: Condutividade elétrica; temperatura do ar e da água; turbidez; oxigênio dissolvido; pH; sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão; alcalinidade total; cloreto total; transparência; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO).
- Microbiológicos: Coliformes termotolerante
- Biológicos: Clorofila; fitoplâncton
- Nutrientes: Fósforo; nitrogênio

Como a qualidade da água é mutável ao longo do tempo, é importante manter uma rotina de monitoramento e identificar padrões e pontos fora do limite esperado nas atividades econômicas. (BITTENCOURT, 2014)

Para isso, em 1970 foi criado o Índice de Qualidade de Águas (IQA) pela *National Sanitation Foundation*. No Brasil, o IQA foi adaptado pelos órgãos governamentais federais, CONAMA, e estaduais, no caso de São Paulo, que são respectivamente a CETESB e a Sabesp e atualmente orienta todas as políticas de qualidade de água no país.

(BITTENCOURT, 2014)

Entrando em detalhe nos indicadores de maior interesse para indústrias, tem-se o DBO, que mede a quantidade de oxigênio que será utilizada pelo ambiente para oxidar toda a matéria orgânica presente no efluente, altos valores de DBO e DQO implicam na diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água e por consequência aumento da mortalidade de seres aeróbios. (BITTENCOURT, 2014)

O nitrogênio total indica a quantidade de compostos formados a partir de nitrogênio que o efluente possui, os mais usuais são o nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrato e nitrito. Além desses compostos serem tóxicos ao ser humano, eles atuam fortemente no processo de

eutrofização. (BITTENCOURT, 2014)

Fósforo total atua de maneira semelhante ao nitrogênio, aumentando o processo de eutrofização. (BITTENCOURT, 2014)

O potencial hidrogeniônico (pH) afeta o metabolismo dos seres vivos, na Resolução CONAMA nº 357 fica estabelecido que o valor deste indicador deve estar entre 6 e 9. (BRASIL, 2005)

A temperatura da água, por sua vez, tem fator de importância por influenciar praticamente todos os parâmetros físico-químicos da água, tais como densidade, viscosidade, tensão superficial. Pensando nos organismos, os mesmos devem ter uma temperatura dentro dos seus limites de aceitação, e por mais que durante o dia e durante o ano os corpos de água sofram mudanças de temperatura, mudanças bruscas de temperaturas devido ao lançamento de efluentes podem impactar negativamente o ambiente. (BITTENCOURT, 2014)

O resíduo total engloba todos os resíduos que sobram após o processo de evaporação, secagem ou calcinação da água, esse indicador é importante pois ao se depositarem no fundo dos corpos de água podem provocar o assoreamento, provocando problemas a vida humana como enchentes e também a vida aquática com a morte de seres aquáticos. (BITTENCOURT, 2014)

Por fim, a turbidez relaciona o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar o efluente, causado principalmente pelos sólidos em suspensão. O aumento deste indicador aumenta a quantidade de coagulantes para o tratamento físico-químico do efluente, e na vida aquática dificulta a preservação de organismos aquáticos. (BITTENCOURT, 2014)

## **2.6 - Definição de efluentes e sua legislação**

Por definição, efluentes são resíduos líquidos que adquirem características únicas após passarem por um processo produtivo, devido as suas atividades e produtos utilizados. O controle dos recursos hídricos e lançamentos de efluentes teve início no Brasil em 1970 pela CONAMA, que passou por ajustes ao longo dos anos até que em 2011 com a Resolução CONAMA nº 430/2011 atingiu-se sua versão atual, definindo de forma quantitativa as condições, parâmetros e indicadores para direcionar o lançamento de efluentes no país em corpos de água receptores. O objetivo deste padrão é resguardar a qualidade das águas nos corpos receptores. (BRASIL, 2011)

As leis quanto aos efluentes também são bastante claras, o lançamento de efluentes no corpo receptor está situado no Artigo 17 do Decreto nº 8.468/76, que “estabelece que os efluentes de qualquer natureza somente poderão ser lançados nas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado, desde que não sejam

consideradas poluentes”. (SÃO PAULO, 1976)

Já no Artigo 3º do Regulamento da Lei Estadual n o 997/76, aprovado pelo Decreto nº 8.468/76, diz sobre a poluição das águas, em que é poluente “toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo, com intensidade, em quantidade e concentração em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste Regulamento ou norma dele recorrentes”. (SÃO PAULO, 1976)

Também está vetado o lançamento de efluentes que contenham poluentes orgânicos persistentes (POP's), e também qualquer tóxico que possa causar dano a vida aquática. (SÃO PAULO, 1976)

Sendo os responsáveis pelo monitoramento, os próprios responsáveis pela fonte poluidora. (SÃO PAULO, 1976)

No Quadro 2 estão algumas medidas quantitativas aprovadas pela Resolução CONAMA nº430/2011.

**Quadro 2.** Medidas quantitativas para efluentes

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor esperado</b>
pH	5 a 9
Temperatura	Menor que 40 °C não excedendo 3 °C no ponto de mistura
Materiais sedimentáveis	1 ml/L em 1 hora
DBO <sub>5,20</sub> (5 dias a 20 °C)	Remoção mínima de 60%
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Benzeno	1,2 mg/L
Zinco total	5,0 mg/L Zn

**Fonte:** Adaptado de Resolução CONAMA nº430/2011, 2011

## **2.7 - O tratamento de água e efluentes**

Dependendo de sua origem, o efluente pode conter vários tipos diferentes de poluentes, como óleos, orgânicos e metais pesados. Para destinar ou reaproveitar esses efluentes, é necessário remover ou neutralizar esses poluentes e ajustar os parâmetros do efluente de acordo com as exigências para seu descarte, pois estão ligados diretamente com o meio ambiente (CRESPILO, 2004). As estações de tratamento de águas residuais, por sua vez, contêm várias etapas para garantir que todos esses parâmetros sejam corrigidos antes de

prosseguir com o tratamento, levando em conta fatores como custos de investimento, qualidade e quantidade de resíduos gerados, geração de odor, segurança e reuso dos efluentes. (GIORDANO, 1999)

O tratamento é dividido em três tipos: processos físicos, que separam fisicamente os contaminantes de outros efluentes; processos biológicos, nos quais os microrganismos são usados para consumir matéria orgânica; e processos químicos, em que químicos ou reações são usados para remover contaminantes. (Projeto Município Verde, 2012). Este tratamento popularmente é chamado de tratamento de água e efluentes, também conhecido como ETAE.

### **2.7.1 Processos Físicos**

Os principais processos apenas físicos envolvidos na ETAE são o peneiramento e gradeamento, que normalmente são aplicados de forma preliminar para remover impurezas grosseiras do efluente. (GIORDANO, 2004)

O peneiramento e o gradeamento são os processos mais simples quando se trata de tratamento de efluentes. Eles são basicamente etapas de filtragem, onde uma barreira física com pequenas aberturas impedem a passagem de determinadas partículas de tamanhos maiores que as passagens. (GIORDANO, 2004)

As grades separam partículas grandes (0,5 - 2,0 cm), enquanto as peneiras separam as partículas menores (0,5mm - 2,0mm). Eles quase sempre estão presentes nas primeiras etapas do tratamento. (GIORDANO, 2004)

A Figura 9 apresenta um exemplo do equipamento de gradeamento.

**Figura 9.** Exemplo de gradeamento



**Fonte:** Adaptado de Abreu, 2020

Além desses, também há a separação de óleos e gorduras, como óleos e gorduras não se

misturam na água, é mais fácil removê-los das águas residuais. Portanto, o princípio desta etapa é relativamente simples. O efluente entra em um tanque comumente chamado de caixa de gordura, que contém uma barreira bloqueando sua passagem direta. Devido à menor densidade da gordura, a fase oleosa fica na superfície do tanque e a fase aquosa fica no fundo, podendo passar pelos canais enquanto a gordura fica retida, nesse processo é necessário a remoção manual de gordura acumulada, não sendo muito aplicado em indústrias. (FOGAÇA, 2015)

### **2.7.2 - Processos químicos**

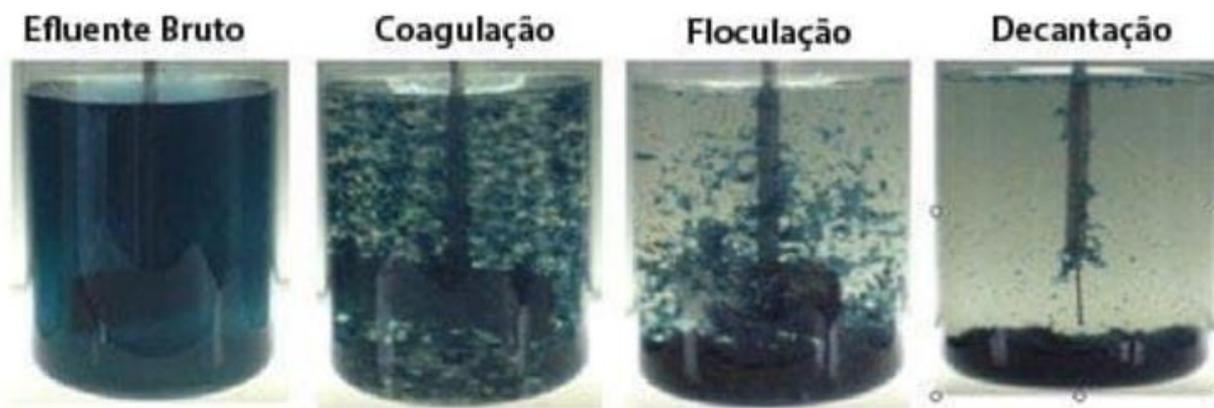
Para os processos químicos, pode-se citar a neutralização de cianetos, dependendo da atividade industrial da planta, o efluente pode conter quantidades perigosas de cianeto, um ingrediente altamente tóxico. Portanto, uma série de reações químicas são usadas para neutralizá-lo. Essas reações ocorrem a partir do íon hipoclorito em meio alcalino, com a formação de gás carbônico e nitrogênio. Após esse processo, os metais os quais os íons cianetos estavam ligados tornam-se insolúveis na forma de hidróxidos. (GIORDANO, 2004)

Outro processo bastante utilizado é o de ozonização. Nesse processo o ozônio é utilizado para oxidar o material orgânico presente no efluente, no qual vários fatores como cor, concentração de fenóis e toxicidade, entre vários outros, são reduzidos. (AQUINO, 2012)

### **2.7.3 - Tratamento Físico-Químico**

Esse é um tratamento que realiza a mistura de processos físicos e químicos, geralmente, precedendo algum outro tratamento biológico, objetivando uma redução inicial na carga orgânica do efluente, ou de possíveis poluentes dissolvidos no líquido, transformando-os em uma fase sólida, chamada de lodo (NUNES, 2008). Ela consiste basicamente na junção de dois processos muito convencionais na indústria, a coagulação e a floculação, que podem ser vistos na Figura 10. Estes processos visam aglutinar as partículas suspensas presentes nas águas residuárias, ou seja, na vinhaça, mediante a adição de coagulantes. (CAVALCANTI, 2009)

**Figura 10.** Etapas do tratamento físico-químico



Fonte: Adaptado de Raymundo, 2022

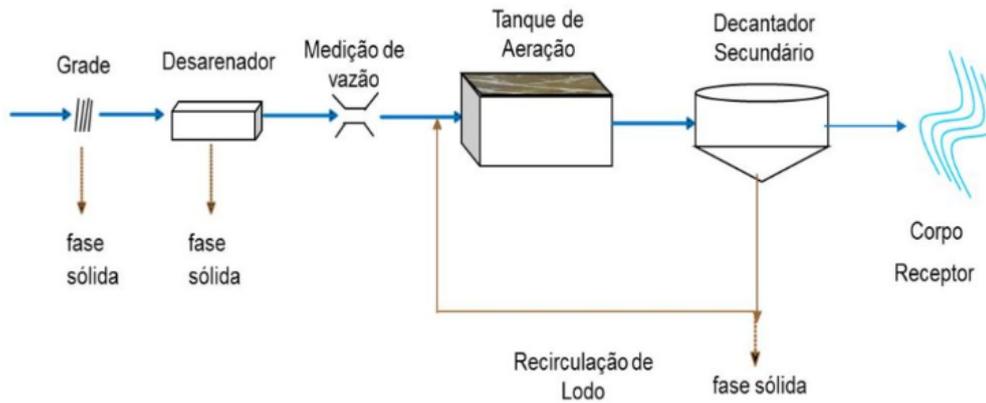
A coagulação é responsável pela aproximação das partículas presentes no efluente e pela formação de aglomerados de maiores tamanhos, ainda microscópicas, mas com maior tendência a sedimentar. Depois de neutralizadas, as partículas em solução precisam de um maior contato a fim de que sejam formados maiores aglomerados, com maiores tendências à sedimentação. Para isso, são fornecidas condições específicas de tempo e agitação. Esse processo é conhecido como floculação. Essa etapa, como visto, é feita depois da coagulação e consiste em um processo mecânico o qual produz agitação no meio e provoca choques e colisões entre as partículas. A agitação, nesse caso, precisa ser lenta para que as colisões entre as partículas não sejam capazes de romper outras ligações que formam flocos. Por fim, ocorre a etapa de sedimentação, em que a solução é deixada em repouso para que os flocos formados nos processos descritos anteriormente possam sedimentar, formando assim o lodo. (SAPLA, 2015)

#### 2.7.4 - Processo Biológico – Lodo Ativado

O processo de lodo ativado é um processo biológico aeróbio, utilizado para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, principalmente quando a quantidade de efluente a ser tratado é muito grande e constante. (IERVOLINO, 2019)

Nesse processo, um tanque é aerado para proporcionar oxigênio aos microrganismos responsáveis pela degradação de matéria orgânica do efluente, além de evitar a deposição de flocos bacterianos, misturando-os com o efluente. Subsequente a essa etapa, tem-se a separação do efluente do lodo tratado, por meio de um decantador. Durante esse processo, parte do lodo pode ser purgado para o tanque aerado novamente, melhorando a eficiência do processo (IERVOLINO, 2019). Na Figura 11 pode-se observar esse esquema:

**Figura 11.** Fluxograma lodo ativado

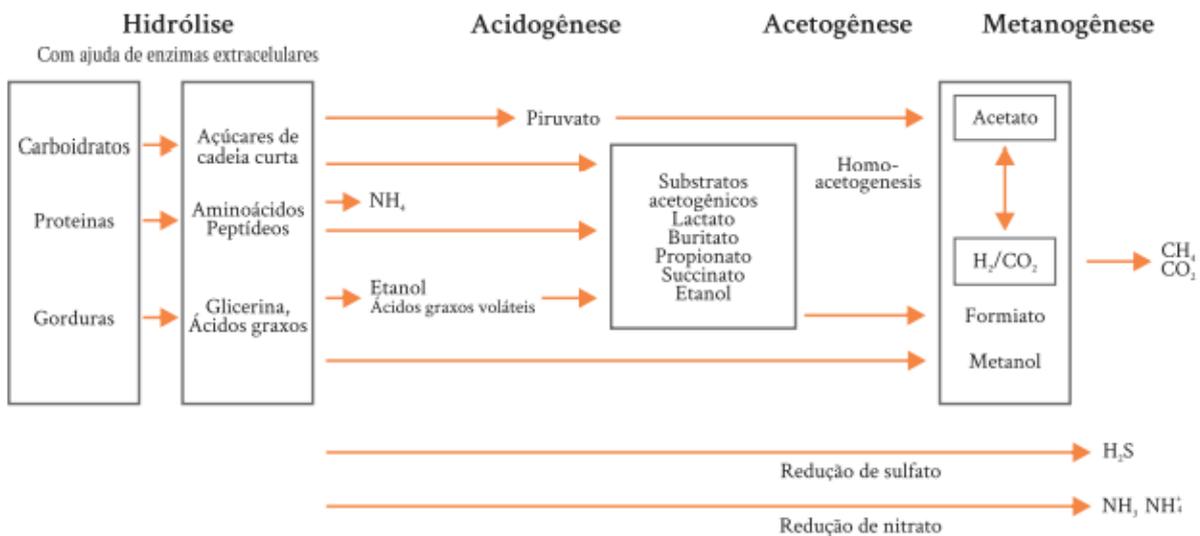


Fonte: Adaptado de Iervolino, 2019

### 2.7.5 - Processo Biológico – Digestão Anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia, é um processo biológico, e como o próprio nome diz, requer condições anaeróbias para que os microrganismos atuem. Nesse processo, uma sucessão de microrganismos atuam em sintonia para o tratamento do efluente, transformando em dióxido de carbono e metano, que podem ser reaproveitados. A digestão anaeróbia pode ser dividida em 4 etapas, a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, cada etapa realizada por microrganismos diferentes. (DEUBLEIN, 2011). Um esquema simplificado da digestão anaeróbia pode ser observado na Figura 12.

Figura 12. Etapas resumidas da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Deublein e Steinhauser, 2011.

Alguns parâmetros de processos devem ser respeitados para o seguimento correto de

cada etapa, devido ao metabolismo das bactérias. Os parâmetros devem ter um controle mais rigoroso conforme o for se adquirindo conhecimento empírico do processo (WELLINGER, 2013), mas de forma inicial, os parâmetros podem ser observados no Quadro 3.

**Quadro 3.** Requisitos dos organismos para digestão anaeróbia

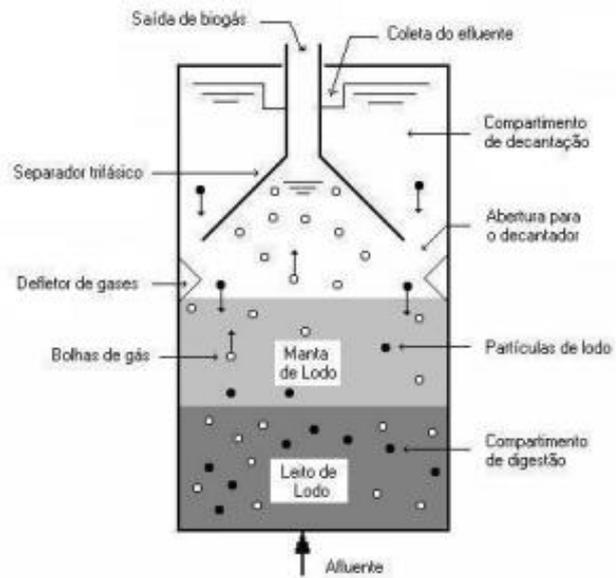
<b>Parâmetro</b>	<b>Hidro/Acido/Aceto gênese</b>	<b>Metanogênese</b>
Temperatura (°C)	25 - 35	32 – 42
pH	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
Relação C:N	10 – 45	20 – 30
Concentração de matéria seca (%)	< 40	< 30
Potencial Redox (mV)	+ 400 até (-300)	< -200
Relação C:N:P:S	500:15:5:3	600:15:5:3

**Fonte:** Adaptado de Wellinger et al., 2013.

Os digestores consistem basicamente numa câmara de fermentação, onde é processada a biodigestão da matéria orgânica, numa campânula que armazena o gás produzido ou, simplesmente, numa saída para este gás, em uma entrada do substrato a ser fermentado e numa saída para o efluente produzido pelo processo. Para isso, normalmente é utilizado um bioreator, sendo o mais comum o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (KUNZ, 2022).

No reator UASB, o substrato a ser tratado é distribuído ao longo da parte inferior, através de uma densa camada de lodo anaeróbio. O resíduo, que é formado por partículas reduzidas do material orgânico, flui na direção da parte superior, passando pelo leito de lodo e depois pela manta de lodo, na qual sua DBO é parcialmente convertida em biogás. No topo do reator, o separador de três fases atua sobre o efluente tratado, o lodo bacteriano granulado que foi arrastado e o biogás, como mostrado na Figura 13. Enquanto o biogás é retirado do sistema, o lodo granulado, mais pesado, volta a se depositar no fundo e o efluente líquido sai pela parte mais alta do reator, podendo ser destinado a outros tratamentos para posterior reuso ou disposição em aterro sanitário. (KUNZ, 2022)

**Figura 13.** Funcionamento Reator UASB



**Fonte:** Adaptado de Chernicharo, 2007.

### **3- METODOLOGIA**

A metodologia deste presente trabalho visa, por meio de um estudo de caso de vivência do autor, explorar as formas que a indústria 4.0 já está presente na realidade das indústrias do país e quais outros caminhos e avanços podem ser realizados visando o maior impacto em redução de custo e eficiência da planta química.

O trabalho teve início com uma revisão bibliográfica sobre as temáticas mais importantes da indústria 4.0 e sobre a planta a ser utilizada como estudo de caso, uma estação de tratamento de água e efluentes (ETAE). Após a revisão de conceitos foi introduzido o estudo de caso, mostrando quem é a empresa envolvida e as características únicas da ETAE da Ingredion Brasil em Mogi Guaçu – SP. Com isso, foi possível explorar o planejamento, execução e resultados esperados da aplicação dos conceitos da indústria 4.0, durante esse processo, foram utilizados softwares fornecidos pela Microsoft no plano da Microsoft365, voltado a empresas, as ferramentas utilizadas foram o Power Apps, Microsoft SQL Server e o Power BI. Os resultados foram voltado a redução de tempo e otimizar o processo de controle de indicadores de produção e KPI's, dando continuidade, também explorar quais variáveis ainda são passíveis de serem aprimoradas e quais conceitos ainda podem ser adicionados e seus resultados esperados.

#### **4- ESTUDO DE CASO:**

Neste tópico será abordado melhor o estudo de caso sinalizado no tópico 3 de metodologias e em qual contexto ele foi pensado. Para assim, ser realizada uma análise dos resultados obtidos e o futuro da indústria 4.0. Primeiro, detalhando a empresa envolvida e seu posicionamento em inovação e tecnologia, e, posteriormente, uma contextualização de onde o estudo de caso foi realizado, considerando detalhes técnicos e seus objetivos. Com essas informações parte-se para os resultados.

##### **4.1- A INGREDION**

A Ingredion Incorporated é uma empresa americana multinacional fundada no ano de 1906 que atua no processamento e refino de alimentos, os quais assumem seu uso nos mais diversos ramos industriais, desde o óbvio como a de alimentos, até a indústria têxtil e farmacêutica, sua maior expertise é com ingredientes a base de milho, mas atualmente já possui um portfólio extenso utilizando batatas, beterrabas, além de outros vegetais e frutas. Atualmente possui cerca de 44 unidades de operação e está presente em 15 países, na América do Norte, América do Sul, Ásia e Europa, abastecendo clientes em cerca de 40 países.

Além das unidades fabris, a Ingredion também é reconhecida pelo seu Ingredion Research Lab (IDEA Labs), responsável pela pesquisa e desenvolvimento de novos ingredientes e revisão dos atuais visando torna-los mais saudáveis. Com seu lema “Be what’s next <sup>TM</sup>”, a Ingredion busca uma produção mais saudável em todos os âmbitos, seja no âmbito produtivo e econômico, como no social e ambiental. Por isso, faz muito sentido o envolvimento da empresa com os conceitos da indústria 4.0, que é de fato o próximo passo para as indústrias no âmbito global, tornando o que vêm a seguir possível.

A Ingredion é dividida regionalmente e por país, conforme a quantidade de plantas em cada local. No Brasil é atuado sobre o nome de Ingredion Brasil, dessa forma, pode possuir bastante autonomia e não sendo dependente das decisões envolvendo outros países. No país, possui 4 unidades fabris, localizadas em Alcântara – RJ, Balsa Nova – PR, Cabo de Santo Agostinho – PE e Mogi Guaçu – SP, sendo a última a maior da América do Sul e uma das maiores do mundo. A Ingredion também mantém a cultura de inovação de sua origem, sendo reconhecida pela revista Valor como uma das 150 empresas mais inovadoras do país. Hoje, o movimento de inovação e tecnologia aliado a resultados sustentáveis é o norte da empresa e citando a própria:

“Nós trazemos o potencial das pessoas, natureza e tecnologia para tornar a vida melhor”

## 4.2– Estudo de caso: ETAE

No tópico 4.1 fica exposta a relação da Ingredion com a inovação e tecnologia e, portanto, com a indústria 4.0, o próximo passo foi implementar de fato esses conceitos. Por mais que hajam outros exemplos para realizar o estudo de caso, optou-se por utilizar a digitalização de indicadores e folhas de operação realizada na ETAE em Mogi Guaçu – SP, a qual foi escolhida por ser já o objeto de estudo no estágio do autor, garantindo uma análise mais profunda do trabalho.

A ETAE possui um fluxograma completo, o qual por motivos de segurança corporativa, não foi mostrado neste trabalho, o que também não acarreta perdas significativas ao trabalho. No entanto, para exemplificar melhor, abaixo segue uma síntese de todas as operações unitárias presentes, sendo muitos desses processos utilizados mais de uma vez ao longo da operação:

- Processos físicos: Gradeamento e peneiramento.
- Processos químicos: tratamento físico-químico e ozonização.
- Processos biológicos: tratamento por lodo ativado e por digestão anaeróbia utilizando reator UASB.

Durante essas operações unitárias, certos indicadores são coletados, os quais possuem dependência com a qualidade do efluente gerado pela fábrica, condições climáticas, condições de manutenção do equipamento dentre outros.

Explorando de fato a ETAE e como a indústria 4.0 foi pensada para atuar, atualmente é necessário a coleta de alguns indicadores de produção, como por exemplo determinar o pH em determinado ponto, a vazão de efluente sendo gerada pela produção, vazão de efluente sendo reutilizada, entre outros. Esses indicadores possuem diferentes criticidades e formas de serem coletadas, ou seja, alguns indicadores devem ser mantidos obrigatoriamente dentro de seu limite esperado e sendo realizado ajustes no momento de alguma perturbação. Não só isso, mas alguns indicadores tem sua coleta automática por algum software, outros necessitam da coleta *in loco*, ou até de tratativas em laboratório para chegar na sua forma correta de medição, esse tipo de situação acarreta um problema, que é a insegurança em relação ao tratamento e amparo dos indicadores que em algum momento possuem um ponto fora dos limites especificados. Além disso, todos os indicadores têm um problema em comum, nenhum está disponível de forma online e de fácil acesso, o que dificulta o acesso a informação e não só isso, mesmo que o acesso a informação ocorra, os dados ainda não estão tratados ou alinhados com um modelo de tendência para que seja possível aos tomadores de decisão terem uma visão rápida e eficiente do todo.

Culminando em um ponto importante, todo o controle de processos da ETAE fica a cargo

das próprias pessoas que estão realizando a coleta dos indicadores, sem nenhuma automação para corrigir perturbações e também com um atraso para pessoas que no momento não estão na operação poderem acompanhar, tudo isso gerando um consumo excessivo de tempo, pois ao longo prazo é necessário compilar os pontos, tratar os dados, realizar as análises, para poder ter uma visão de tendências e tratar alguma anomalia no processo, isso ainda considerando que nenhum dado se perdeu no processo e todos os pontos foram analisados antes de serem armazenados. Não só ao longo prazo, mas também no curto prazo é necessário que a própria operação com seu conhecimento empírico e teórico controle o processo, sem nenhum processo de automação fora os controles de processo padrão como nível de tanque e abertura de válvulas.

Além disso, por mais que essa coleta de indicadores seja essencial em toda fábrica, como a Ingredion é uma indústria de alimentos, o produto final acaba passando por um controle de qualidade mais rigoroso tanto pela empresa, como pelo próprio cliente, o que garante a minimização dos problemas apresentados.

Já na ETAE esse controle é feito a partir de todas as normas e especificações de qualidade de água já apresentadas no tópico 3, no entanto, esse controle ainda é muito dependente do conhecimento empírico dos operadores e responsáveis pela área. Isso acarreta um problema que é a dificuldade de passagem de informação adiante até os responsáveis pela área ambiental da empresa para que possam tomar decisões mais assertivas e mais econômicas em busca de reduzir o consumo de água, de energia e emissões de gases estufa, sendo os três, objetivos estratégicos para empresa.

Esse é um dos motivos que tornam este estudo de caso importante, a forma como a indústria 4.0 hoje pode atuar minimizando o impacto ambiental gerado por uma indústria além das especificações previstas por lei, isso enquanto gera um maior resultado para empresa.

## **5- RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Com os problemas e a situação descrita no tópico 4 foi possível elaborar uma estratégia para solucionar este problema, tal solução foi objeto de estudo do autor e está alinhada com os conceitos da indústria 4.0 e da estratégia empresarial da Ingredion, trazendo tecnologia, modernidade e eficiência as suas fábricas. Essa solução bem como seus resultados e possíveis melhorias para o futuro e suas implicações são descritas neste tópico.

### **5.1- Visão dos Engenheiros**

Para desenvolver uma solução e entender as reais implicações de como a empresa poderia se beneficiar da indústria 4.0, foi entender com os engenheiros de processos quais são os problemas que eles sofrem em relação ao tema apresentado e uma forma de mensurar um outro recurso que muitas vezes passa despercebido, o tempo consumido pela operação, que poderia ser substituído por automações advindas da indústria 4.0.

Para isso, foi feito um formulário, que foi respondido por todos os engenheiros responsáveis pelo gerenciamento dos dados de processo fora do padrão nas plantas do Brasil, sendo estes dados tratados com a metodologia do FCA (Fato – Causa – Ação), descrevendo o que ocorreu, a possível causa e a ação tomada para remediar o fato.

A ideia deste formulário foi coletar uma percepção geral das mais diversas áreas produtivas, não se limitando apenas a ETAE, visto que esse problema afeta toda cadeia produtiva e não apenas uma área específica. O formulário resultou em 2 saídas principais, o tempo consumido pela operação e quais os principais problemas que os dados atuais apresentavam.

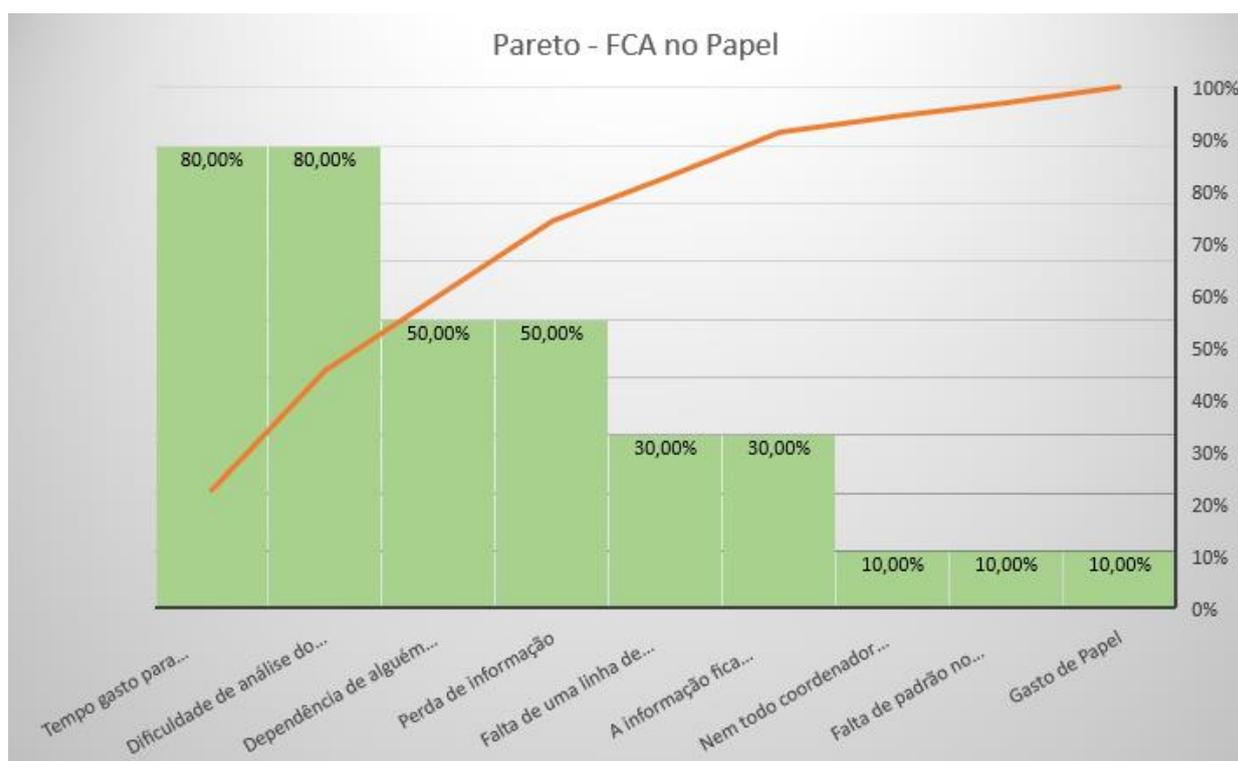
Em relação ao tempo necessário para compilação e apresentação destes dados, as respostas foram bem divergentes, variando entre 1 hora semanal até 5 horas semanais por macro etapa do processo, o que era um resultado esperado, visto que as plantas no Brasil possuem maturidades e extensões muito diferentes entre si, significando que uma planta menor e com um grau de disciplina de processos maior, deve apresentar um tempo de resposta mais ágil, porém, em média o tempo utilizado nessa tarefa é de 2 horas semanais, apenas para compilar os dados já preenchidos anteriormente, sem realizar nenhum tipo de análise ou estudo sobre cada um deles, ficando a cargo do engenheiro disponibilizar do seu tempo para analisar e propor melhorias para indicadores chaves que estão fora do padrão.

Quanto aos problemas causados por esse tipo de prática, foram levantados 9 efeitos negativos principais deste processo em papel, os quais os engenheiros deveriam elencar quais são os 3 principais e também um espaço aberto para mais problemas que não foram listados. A lista final de implicações pode ser observada abaixo:

- Tempo gasto para compilação dos dados
- Dificuldade de análise dos dados
- Falta de uma linha de tendência do indicador
- A informação fica concentrada em poucas pessoas
- Dependência de alguém na fábrica para fazer as análises
- Perda de informação
- Nem todo coordenador entrega a compilação dos dados no mesmo horário, gerando retrabalho
- Falta de padrão no preenchimento
- Gasto de Papel

Com isso, foi possível construir um gráfico de Pareto para avaliar quais os principais problemas enfrentados e propor uma solução para resolvero problema. O gráfico construído com as respostas dos engenheiros pode ser observado na Figura 14.

**Figura 14.** Gráfico de Pareto: Problemas dos FCA's no papel



**Fonte:** Autoria Própria, 2022

A análise do gráfico apresentado na Figura 14 foi feita descartando o princípio de Pareto, em que 20% das causas seriam responsáveis por 80% dos efeitos. Isso foi feito pois o objetivo da análise era identificar quais as principais dores que a operação sente em relação ao FCA em

papel para direcionar a solução utilizando a indústria 4.0, então por contar também com a opinião de quem vive o problema no dia-a-dia e seu preenchimento limitado aos 3 maiores problemas, é certo dizer que nem todos os problemas puderam ser listados nas respostas do formulário, a linha de pareto serviu como recurso visual para identificar a concentração de respostas.

Com essa visão da operação sobre a dimensão do problema, foi dado um norte para desenvolver com o auxílio da indústria 4.0 uma solução digital e escalável para todos os processos das plantas Ingredion.

## **5.2- A Indústria 4.0 e digitalização para solução do problema na ETAE**

Com os problemas levantados nos tópicos anteriores, foi possível o desenvolvimento de uma solução utilizando os conceitos da indústria 4.0 para tornar a coleta de indicadores de processos e abertura de FCA's mais confiável, automática e por consequência melhorar o controle de processos a partir de análises mais rápidas e precisas.

A solução é baseada em 4 grandes fases:

### **Fase 1: Levantamento de dados de operação e regras de negócio.**

A primeira etapa foi compreender o processo e suas especificidades, no caso da ETAE certos indicadores estão relacionados a qualidade dos efluentes que são retornados ao Rio Mogi Guaçu e, portanto, apresentam uma criticidade elevada. Nessa etapa foi importante levantar todos os indicadores de interesse, bem como seu nível de criticidade e quais os limites mínimos e máximos que esses indicadores estão sujeitos, além da periodicidade com que devem ser coletados para ter uma linha de tendência fidedigna. Com isso, eles podem ser classificados em indicadores que necessitam de um acompanhamento em tempo real, diário, ou semanal, trazendo também maior foco para a operação ter de maneira padronizada quais são os pontos chave da produção.

Tendo isso em mente, outro levantamento foi sobre a infraestrutura do local, como por exemplo acesso à internet, computadores e tecnologias disponíveis. Nesta verificação foi compreendido com os operadores como os dados são coletados atualmente, existindo as seguintes possibilidades:

- Coleta totalmente manual: operador vai a campo analisar o indicador
- Coleta experimental: operador coleta uma amostra e realiza um experimento laboratorial para determinar o valor do indicador
- Coleta automática: o indicador é coletado automaticamente por um PLC (Controlador Lógico Programável)
- Coleta automática necessitando de ajustes: alguns indicadores estavam com sua

manutenção em PLC em atraso, tornando uma medida automática, manual.

- Coleta indireta: certos indicadores não possuem uma forma fácil de serem medidos e são tratados como campo calculados, ou seja, sua medida é feita a partir da medida de outros 2 ou mais indicadores.

Nessa etapa inicial do projeto, foi possível identificar certas melhorias, como a maior clarificação quanto a quantidade e criticidade dos indicadores para a operação, que muitas vezes passava despercebido e não davam a real importância para os dados, bem como, a adição e manutenção dos sistemas ciberfísicos (CPS), por exemplo os PLC's e a integração com o ASPEN em certos indicadores críticos, já começando a tornar a indústria 4.0 mais presente no dia-a-dia.

## **Fase 2: Preenchimento e gerenciamento dos dados**

Para a segunda fase, algumas premissas deveriam ser atingidas para que a solução se tornasse satisfatória, dentre elas podem-se destacar:

- Todas as formas de coleta de indicadores devem ser contempladas pela solução, de forma que os indicadores de coleta automática continuem automática e abra margem para que todos sejam automáticos.
- A solução deve ser condizente com o nível de conhecimento apresentado pela operação, não é válido utilizar uma solução moderna, mas que o usuário final não se sinta acolhido.
- O armazenamento dos dados deve ser em um local online e seguro.
- A solução não pode ter sua manutenção e gestão dependente de algum agente específico.

Tendo isso em mente, foi iniciado o desenvolvimento da solução pensando na internet de serviços (IoS), de forma a tornar a solução o mais próximo possível da operação, a ideia principal de seguimento foi a utilização do Power Apps para o preenchimento de dados, que de maneira simples, é uma ferramenta da Microsoft para o desenvolvimento de aplicativos para celulares, tablets e computadores. Uma vez que os dados foram gerados, a utilização do Microsoft SQL (ferramenta em nuvem para armazenamento de dados) foi definida para o armazenamento dos dados.

A escolha dessas ferramentas como IoS apresenta algumas características fundamentais, como a criação personalizada e manutenção sendo possível de ser realizada sem nenhum agente externo, além de uma interface familiar e amigável para o uso. Com isso, a coleta dos indicadores foi definida da seguinte forma:

- Coleta manual: operador preenche manualmente o resultado na aplicação

- Coleta experimental: o aplicativo está adaptado para receber os parâmetros experimentais e calcular os resultados finais
- Coleta automática necessitando de ajustes: intenso trabalho com a equipe de manutenção para eliminar todos esses focos e torná-los indicadores automáticos.
- Coleta automática: utilizando o conceito de comunicação machine-to-machine (M2M) essa coleta não é mais necessária e apresenta seu valor no banco de dados automaticamente.
- Coleta indireta: essa coleta também estará presente no banco de dados, com as regras de negócio sendo aplicadas conforme os seus indicadores base são definidos.

Com isso, a próxima etapa da fase 2 foi a construção da interface de utilização, para essa etapa teve-se o auxílio de um desenvolvedor externo para ser possível criar uma aplicação com todas as especificidades da ETAE e que condiz com a realidade dos operadores. Bem como atuar para definir que a solução seja a prova de erros.

Com a coleta de dados definida, foi possível tratar o armazenamento destes dados a partir do Microsoft SQL, os quais em um primeiro momento não seriam de uso da operação, apenas alguns agentes internos específicos teriam o acesso, garantindo uma maior confiabilidade dos dados. No entanto essa situação acarretaria um outro problema, visto que um dos incômodos em relação a forma como era feita anteriormente era a concentração da informação em poucas pessoas. Pensando nisso, a Fase 4 desta solução, que será apresenta no decorrer do texto, busca solucionar esse problema.

### **Fase 3: Validação das fases anteriores ou UAT (User Acceptance Test)**

As Fases 1 e 2 foram utilizadas para a determinação da solução e a aplicabilidade das regras de negócio estipuladas. No entanto, foi a Fase 3 que determinou de fato o que foi entregue, isso pois, caso o usuário final não estivesse satisfeito com a solução, ela nunca funcionaria 100% e a companhia estaria sujeita a formas de burlar e mascarar os resultados,. Pois, como já dito por Peter Drucker “A cultura come a estratégia no café da manhã”.

Essa etapa foi totalmente voltada para os operadores e entender se as fases 1 e 2 necessitavam de alguns ajustes, para isso, em sequência e com uma duração total de aproximadamente 1 mês, os seguintes testes foram realizados:

1. Teste de primeira impressão: consistiu em avaliar com todos os operadores como eles iriam performar utilizando a aplicação sem nenhuma informação prévia, para avaliar a quão intuitiva ela estava.

2. Teste de uso: após uma explicação da motivação e da nova forma de coleta de dados, o operador era instruído a como utilizar e avaliar se estava contemplando todas as situações operacionais que ele conhecia.
3. Teste de dados: essa foi uma avaliação técnica dos dados da ETAE e regras de utilização do aplicativo. Avaliando se todos os indicadores estavam respeitando seus limites mínimos e máximos atuais, e também a abertura de FCA's bem como os resultados dos campos calculados e experimentais.
4. Teste de transição: esse teste foi para oficializar a transição entre o modelo em papel e não digital, para totalmente online. Durante uma semana os operadores iriam preencher os dados de forma duplicada, das duas maneiras, de forma a identificar últimos possíveis ajustes que seriam necessários para posteriormente abdicar totalmente da maneira antiga de preenchimento.

Esse contato com a operação foi importante para validar a solução e dar continuidade ao projeto e para o processo da ETAE visto que alguns indicadores estavam desatualizados, repassando uma matriz de criticidade sobre eles.

#### **Fase 4: Tratamento e disponibilização dos dados**

Uma vez que os dados estejam sendo preenchidos e armazenados, o último problema a ser resolvido foi a forma de como divulgar e facilitar o acesso a eles. Realizando tratativas que possam facilitar e fornecer análises importantes a quem leia, de forma simplificada. Da mesma forma como na Fase 2, algumas premissas devem ser seguidas:

- O acesso deve ser online e simples
- Tanto os itens gerenciais como os itens de produção devem ser atendidos
- Visualização customizável

Para isso, a ferramenta escolhida foi o Power BI, principalmente devido a proximidade com as outras ferramentas já utilizadas e por atender as premissas. Pensando em garantir uma maior confiabilidade aos dados apresentados, o acesso a construção dos relatórios foi restrito a algumas pessoas que devem ser responsáveis por toda sua gestão, fazendo as adaptações conforme necessário.

Este relatório deve ser disponibilizado na sala de controle da ETAE de forma bem visual para que os operadores e pessoas de interesse tenham em tempo real a tendência de certo indicador e os resultados dos últimos turnos para consultar e auxiliar em sua tomada de decisão. Sua construção foi pensada a ser totalmente customizável, cabendo a cada processo determinar o que deve ser mostrado. Concluindo assim as 4 etapas da solução.

Na Quadro 4 tem-se de forma resumida qual foi o impacto da indústria 4.0 até então na

solução e qual o impacto atingido.

**Quadro 4.** Reflexos da Indústria 4.0 na ETAE

<b>Elemento da Indústria 4.0</b>	<b>Reflexo no processo</b>	<b>Mudança na rotina</b>	<b>Melhoria no processo</b>
Sistema Ciberfísico	Controladores lógicos	Coleta automática de indicador	Agilidade e maior segurança nos dados
Internet de Serviços	Input de dados por Power Apps	Dados adicionados de forma digital	Aumento da qualidade do processo
Computação em Nuvens	Dados de processo digitais (SQL)	Acesso rápido e fácil aos dados	Tratamento dos dados facilitados
Comunicação machine-to-machine	Indicadores automáticos carregados no SQL	Não depende mais de um operador realizar essa atividade	Maior tempo para dedicar a outras tarefas
Internet de Serviços	Relatórios em Power BI	Compilação de dados automático	Maior eficiência de tempo e de análises
Integração de sistemas	Toda comunicação de indicadores do processo no mesmo local	Informação centralizada em uma ferramenta	Maior praticidade e capacidade de analisar o processo como um todo
Big Data/Internet das Coisas	Fluxo massivo de dados digitais já tratados	Novas capacidades de análises	Ideias de melhorias novas para o processo

**Fonte:** Autoria Própria, 2022

### 5.3- A solução sendo colocada em prática

Até então, no trabalho foram apresentados os conceitos da indústria 4.0 que seriam aplicados para a definição de solução e quais os resultados esperados. Neste tópico foi abordado o processo de transição, como foi sentido pela operação e também pela gerência esse novo fluxo de dados, além de exibir de forma mais visual a nova rotina de preenchimento de dados, já lapidado pela operação.

**Visão gerencial:** as mudanças previstas, como já era esperado foram vistas com bons

olhos pela função gerencial, afinal, os problemas relatados são sentidos principalmente por eles, que também estão alinhados com a estratégia da empresa de digitalização e modernidade no campo de trabalho. Dentre os pontos destacados, os de maior interesse estão dispostos abaixo:

- Facilidade no acesso a informação
- Compilação automática dos dados
- Linha de Tendência dos indicadores
- Garantia da execução dos FCA's

Sendo esses pontos relacionados a principalmente a análise dos dados. Uma grande dificuldade enfrentada durante a execução foi o alinhamento entre o que seria preenchimento de dados (Power Apps) e análise dos dados (Power BI), isso pois, era de interesse das pessoas responsáveis pela tomada de decisão adicionar diversas informações de análises durante o preenchimento dos dados, sendo necessário medir uma relação entre o quanto isso deixaria a aplicação mais completa, porém com maior esforço computacional e o quanto isso de fato seria aproveitado pelo usuário final (operadores). Para solucionar esse problema, o caminho tomado foi um alinhamento geral sobre tornar o Power Apps restrito apenas a preenchimento de dados e todas as análises seriam destinadas ao Power BI.

**Visão da operação:** desde o início do projeto o maior foco foi com a operação, por ser, afinal, o usuário final. Por isso, foi dada uma atenção especial para validar os conceitos da indústria 4.0, como evidenciado no tópico 5.2 ao descrever a Fase 3, durante essa fase, alguns itens foram evidenciados.

Interface simplificada: foi criada uma interface simples e direta para os operadores, isso pois em conversas foi possível identificar que não existia uma certa padronização no preenchimento de dados, como turnos, canal de processo, usuário que está preenchendo, itens para análises quando se está falando em Big Data, por isso a padronização foi dada como regra durante toda a interface, limitando o máximo possível, erros de preenchimento. A interface inicial pode ser observada na Figura 15.

**Figura 15.** Interface inicial para o Power Apps



**Fonte:** Power Apps – Ingredion, 2022

Preenchimento de dados: um dos problemas enfrentados pela operação era a dificuldade de poder avaliar indicador por indicador durante a rotina, ou seja, a não abertura de FCA's muitas vezes acontecia por falta de conhecimento e não por descaso ou não conhecimento da importância desta rotina. Além disso, toda frequência de coleta ficava a cargo do conhecimento de processo da operação, por isso, o máximo desses pontos foram tratados na interface de preenchimento de dados, que pode ser observado na Figura 16 (nomes removidos por confiabilidade).

**Figura 16.** Interface de preenchimento de dados

The screenshot displays the 'FOLHA DE OPERAÇÃO' interface for data entry. At the top, the Ingredion logo is on the left, and 'FOLHA DE OPERAÇÃO' is on the right. Below the logo, there's a navigation bar with a home icon and 'INDICADORES MANUAIS'. The top right corner shows 'UNIDADE: MOGI GUAÇU | ÁREA: ETAE - Turno 01'. The main area features a list of indicators on the left, each with a green checkmark. The selected indicator is '+2.4'. To the right, there's a 'Selecione o Horário' section with buttons for 00H, 02H, 04H, and 06H. Below this, there are four input fields: 'INDICADOR:' (empty), 'CRÍTICO:' (filled with 'Sim'), 'LÍMITE MÍNIMO:' (filled with '3500 ppm'), and 'LÍMITE MÁXIMO:' (filled with '6500 ppm'). The 'Origem: DQO' is also visible. The data entry form includes 'Valor Coletado' (6600), 'Valor de Diluição' (1), and 'Valor' (6600). There are also sections for 'Fato', 'Causa', and 'Ação'. The bottom bar shows the user's name 'Alexandre Masson' and date '14/03/2022 13:21', along with buttons for 'HISTÓRICO POR DATA/TURNO', 'HISTÓRICO POR INDICADORES', and 'GRAVAR'.

**Fonte:** Power Apps – Ingredion, 2022

Como pode-se observar na figura, qualquer valor de indicador fora dos limites já gera um FCA de forma automática e de preenchimento obrigatório. Além disso, há também caixas de informação contendo comentários sobre o indicador e sua frequência de coleta, facilitando na hora do preenchimento e também economizando tempo da operação.

Infraestrutura: a ETAE da planta de Mogi Guaçu, por realizar tanto o tratamento da água utilizada na fábrica como o tratamento dos efluente para retornar à água ao corpo d'água, fica localizada a uma certa distância da fábrica, em um local com problemas de infraestrutura para o acesso a internet, podendo tornar a solução em um problema. Para contornar este problema, que é um limitante da indústria 4.0, foi providenciado para a operação, além dos computadores já utilizados, tablets funcionando a partir de 4G, dessa forma as chances de ser impossibilitado o acesso a rede são reduzidas.

Feedback geral: após a apresentação da solução final e o início da transição, todos os operadores da ETAE estavam entusiasmados com a mudança, alguns com mais facilidades em participar dessa transição e outros com mais dificuldades por não terem experiência com a nova tecnologia. No entanto, o respaldo geral foi muito positivo, os principais pontos foram:

- Modernização da rotina de trabalho

- Maior facilidade e velocidade para coleta dos indicadores
- Experiência em ferramentas digitais
- Simplicidade para entender como está o andamento do processo em seu turno

Com a solução finalizada, foi checado os problemas levantados no Pareto mostrado na Figura 14 e a solução correspondente atingida com a indústria 4.0, para melhorar a análise, problemas com 80% de escolha foram classificados como Alta prioridade, 50% e 30% como Média prioridade e 10% baixa prioridade. Isso pode ser observado no Quadro 5.

**Quadro 5.** Problemas e as soluções propostas

<b>Problema</b>	<b>Prioridade</b>	<b>Solução</b>
Tempo gasto para compilação dos dados	Alta	Compilação automática e digital
Dificuldade de Análise dos dados	Alta	Análise gráfica automática e visual com linhas de tendência
Dependência de pessoas na fábrica para as análises	Média	Todo o processo está digital podendo ser realizado de qualquer lugar
Nem todo FCA que deveria ser aberto é aberto	Média	Obrigatoriedade para preenchimento de FCA
Falta de uma linha de tendência do indicador	Média	Linha de tendência inclusa com as análises
Informação concentrada em poucas pessoas	Média	Informação descentralizada por estar digital
Gasto de papel	Baixa	Todo processo por computador/tablet/celular
Horário de entrega dos indicadores	Baixa	Essa entrega agora acontece mediante execução e não depende de trabalho humano
Falta de padronização no FCA	Baixa	<b>O problema ainda existe.</b> <b>Oportunidade de melhoria</b>

**Fonte:** Autoria Própria, 2022

Com o Quadro 5 foi mostrado que praticamente todos os problemas apresentados

foram solucionados utilizando conceitos da Indústria 4.0, principalmente os de prioridade alta e média. No entanto, abre margem também para possíveis melhorias e oportunidades para agregar mais conceitos modernos para ser realizada a melhoria contínua do processo.

#### **5.4- *Machine Learning* para o Controle de Processos**

Devido a capacidade de combinar diversas tecnologias as possibilidades de melhorias de processo que a indústria 4.0 trouxe para as plantas industriais são elevadas. Como pode-se observar pelo Quadro 5, a solução proposta ainda apresenta oportunidades de melhoria, uma proposta de implantação seria adequar a solução apresentada para o conceito de *Machine Learning*. A proposta de *Machine Learning* tem o seguinte fundamento, o trabalho e os indicadores da ETAE estão diretamente interligados com a produção da fábrica, condições climáticas e condições de equipamentos utilizados. Logo, com aprendizado suficiente, a própria máquina seria capaz de identificar, a partir dos outros indicadores, quais os desvios que devem acontecer e já preparar o processo para amenizá-los, sendo capaz de gerar FCA's de forma automática (lidando também com o último problema listado no Quadro 5, e o trabalho da operação seria mais focado em analisar e gerir esse FCA gerado.

O objetivo por trás dessa aplicação é garantir um melhor controle de processos, principalmente em plantas que são muito dependentes de indicadores operacionais, como na ETAE, isso porque as análises de Fato, Causa e Ação dos indicadores seriam feitas a partir de uma máquina com capacidade de aprendizado e acesso a um banco de dados com históricos datados desde o início de seu uso, isso não eliminaria o trabalho humano da equação, já que ainda seria necessária uma análise do trabalho gerado pela máquina mas o trabalho não está mais a cargo apenas do operador que está no local. Além disso, o próprio tempo consumido para essas análises é diminuído, como também, a dependência de alguém com um grande conhecimento empírico do processo avaliar a situação.

Nessa proposta, o algoritmo de aprendizado estará sujeito a diversas formas de aprendizado, sendo as principais:

- **Aprendizado Supervisionado:** a partir da interação da operação com a máquina, fornecendo feedbacks construtivos para melhorar a tomada de decisão
- **Aprendizado Não-Supervisionado:** a partir da relação do algoritmo com todo o banco de dados completo e as conexões e predições tiradas a partir disso.
- **Reforço de aprendizado:** para tornar as decisões mais assertivas é importante que seja feito também atividades para estimular o raciocínio e crescimento do algoritmo, aplicando algumas provas para avaliar o comportamento da máquina.

A ideia por trás das redes neurais e do *machine learning* pode parecer simples, mas

sua execução de fato na fábrica exige uma completa infraestrutura, por isso, foi recomendado primeiro aplicar os conceitos da indústria 4.0 em sua forma mais simples, e posteriormente com maior maturidade de processos e tecnologias dar continuidade as suas aplicações.

## 6- CONCLUSÕES

Após as revisões bibliográficas e discussões do presente trabalho, pôde-se ter uma ideia melhor sobre possíveis soluções e combinações de ideias que a indústria 4.0 pode trazer para uma indústria. Na etapa de “Resultados e Discussões” pode-se ter uma visão melhor sobre o processo de implantação de um novo processo advindo da indústria 4.0, no qual destaca-se a importância de alinhamento entre todos os níveis hierárquicos, mas principalmente com o usuário final, o qual deve ver melhorias práticas em seu dia-a-dia e também estar a par da tecnologia sendo treinado de acordo para seu uso, caso contrário, o projeto poderá estar fadado a falha antes de começar. Além do nível operacional, o projeto da indústria 4.0 deve estar alinhado com a estratégia da indústria, uma vez que, por causar um desconforto inicial, pois cada novo elemento da indústria 4.0 gera um novo reflexo no processo e por consequência uma mudança na rotina, já a melhoria no processo apenas será sentida após toda consolidação do projeto. Por isso, é importante que os tomadores de decisão entendam que esse desconforto inicial é necessário para a melhoria do procedimento e terem a visão a longo prazo como meta, não só isso, mas também atuarem como facilitadores nos possíveis problemas que podem surgir ao longo de qualquer projeto da indústria 4.0

Sobre em específico do projeto implantado, como visto, dos 9 problemas elencados pelos engenheiros, 8 deles foram solucionados com a indústria 4.0, sendo solucionados todos os problemas de prioridade alta e média, isso utilizando apenas ferramentas já disponíveis para uso comum da empresa a alguns anos. Não só isso, mas de acordo com a pesquisa realizada com os engenheiros o tempo médio de compilação dos dados dos indicadores operacionais era de 2 horas semanais, tempo o qual agora pode ser usado para outras atividades, ressaltando que esse tempo era apenas a compilação dos dados, não contabilizando os esforços para gerar uma linha de tendência do indicador, bem como uma análise temporal sobre seus valores e relacionamento com outros indicadores e condições de operação, itens que com a entrega final foram satisfeitos. Além disso, uma análise qualitativa realizada, de difícil mensuração mas importante nos resultados da fábrica, é a relação do colaborador com seu trabalho, os feedbacks coletados com a operação foi da sensação de acolhimento por parte da empresa, a qual está investindo em sua capacitação e modernização do ambiente de trabalho, tornando seu trabalho ainda mais digno. Um ponto de atenção para o projeto foi a questão de infraestrutura, a qual não estava adequadamente preparada para receber todos os insumos da indústria 4.0, causando atraso no projeto, então para futuros projetos, a checagem de rede no local e também se os aparatos tecnológicos como PLC's e

computadores já presentes no local estão em boas condições de uso.

Por fim, não se limitando apenas ao objetivo de trazer uma solução moderna e digital para coleta de indicadores operacionais em fábricas e indústrias, o presente trabalho busca servir como um guia para difundir conhecimento e também orientar na implementação da indústria 4.0 principalmente nas indústrias do país, visto que a falta de conhecimento e a falta de uma real dimensão sobre a indústria 4.0 e como ela pode se integrar e resolver os problemas do dia-a-dia. Isso foi atingido trazendo uma experiência real, com seus sucessos, suas falhas, pontos de atenção e um roteiro de como foi realizado, podendo ser adaptado dependendo de cada situação e a forma com que a indústria 4.0 já está difundida na empresa.

### **6.1- Propostas para o Futuro**

No estudo de caso apresentado, algumas mudanças estruturais e culturais foram apresentadas, a cargo de exemplo pode-se citar a mudança de pensamento por parte da liderança e da operação em relação a abertura para inserção de novas tecnologias e das praticidades que a indústria 4.0 pode trazer, além disso, com uma melhor conexão a internet e melhores computadores, todo trabalho na ETAE que não era manual se tornou um pouco mais leve.

Para o futuro, o principal objetivo do projeto é expandir em direção ao restante da fábrica, de forma que todos os canais de produção estejam interligados de maneira online, seguindo os moldes apresentados na ETAE e após padronizado o uso e com as lições aprendidas e feedbacks coletados, expandir o procedimento, com as personalizações necessárias, as outras fábricas. Mas além disso, com as melhorias estruturais e culturais, o futuro envolve também a utilização de cada vez da indústria 4.0 e suas praticidades uma vez que com a infraestrutura melhorada e já com ideia de soluções, em todo trabalho operacional manual começa a ser pensado formas de digitalização e automatização. Com isso, com a melhor capacitação da operação e condições de trabalho, as ideias e soluções poderiam vir como demanda também de quem de fato realiza o trabalho operacional, e não apenas uma ideia vinda dos tomadores de decisão alterando a rotina da operação.

Uma proposta relacionada ao trabalho apresentado seria a utilização de algoritmos de *machine learning* para o preenchimento dos FCA's. Como visto, a falta de padronização e a subjetividade do operador preenchendo o FCA ainda continua como um problema após a implementação do projeto, por mais que seja de prioridade baixa, ainda é uma melhoria a ser explorada. Dessa forma, a realização dos FCA's seria independente do turno e da pessoa responsável, o trabalho do operador em campo seria destinado a análise do documento gerado e com base em seu conhecimento e da sua equipe direcionar o algoritmo de *machine learning* para torná-lo cada vez mais assertivo, eliminando um outro problema encontrado nos FCA's que é a concentração de conhecimento empírico em determinadas pessoas com mais tempo de fábrica.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, N. Como o esgoto é tratado? Saiba como funciona uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto, 2020. Disponível em: [Como o esgoto é tratado? Saiba como funciona uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto – AUTOSSUSTENTÁVEL \(autossustentavel.com\)](http://autossustentavel.com). Acesso em: 15/06/2022.

AGRAWAL, M. et. al. COVID-19: Um ponto de inflexão para a Indústria 4.0, McKinsey. Disponível em: [COVID-19: Um ponto de inflexão para a Indústria 4.0 | McKinsey](https://www.mckinsey.com/industries/manufacturing/how-we-are-working/2020/07/01/covid-19-um-ponto-de-inflexao-para-a-industria-4-0). Acesso em: 01/07/2022

AQUINO, S. Avaliação da aplicação de ozônio como pré-tratamento ao processamento Anaeróbio de Vinhaça. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p.2-3, 2012.

BITTERCOURT, C., de PAULA, M. A. Tratamento de Água e Efluentes: Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos. São Paulo: Saraiva, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 430, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357, 2005.

CARDOSO W., SILVA L. Gerenciamento de Processos e Indicadores: uma aplicação prática em uma indústria química do setor agroindustrial. V Simpósio de Engenharia de Produção, 2009. Disponível em: [2009.5.pdf \(ufv.br\)](https://www.ufv.br/~engprod/2009/5.pdf). Acesso em: 20/06/2022.

CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de efluentes industriais. Engenho Editora Técnica Ltda. São Paulo, Brasil, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios. Vol. 5. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

CNI. Indústria 4.0. 2016. Sondagem Especial n°66. Disponível em: [SondEsp 66 - Indústria 4.0 - Portal da Indústria - CNI \(portaldaindustria.com.br\)](https://portaldaindustria.com.br/sondagem-especial-66). Acesso em: 22/06/2022.

CNI. Indústria 4.0 Cinco anos depois. 2022. Sondagem Especial n°83. Disponível em: [SondEsp 83 - Indústria 4.0 - Cinco anos depois - Portal da Indústria - CNI \(portaldaindustria.com.br\)](https://portaldaindustria.com.br/sondagem-especial-83). Acesso em: 22/06/2022.

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Indústria 2027 – Riscos e Oportunidades para o Brasil Diante das Inovações Disruptivas, 2017.

CRESPILHO, F. N., REZENDE, M. O. O. Eletroflotação: Princípios e Aplicações. São Carlos: Ed. Rima, 2004, 85 p.

DOO. Operacionais, táticos ou estratégicos: indicadores são essenciais. 2019. Disponível em: <https://doo.com.br/operacionais-taticos-ou-estrategicos-indicadores-sao-essenciais#:~:text=S%C3%A3o%20chamados%20de%20indicadores%20operacionais,os%20objetivos%20estrat%C3%A9gicos%20da%20organiza%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 21/06/2022

FERREIRA, L. H. Remoção de sólidos em suspensão de efluente da indústria de papel por eletroflotação. 2006. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas, SP, Campinas 2006.

FOGAÇA, J . "Tipos de tratamento de efluentes"; Brasil Escola, 2015. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.htm>. Acesso em 14 de julho de 2022.

GIORDANO, Gandhi. Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgoto. 1999. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Ambientais – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ. 2004.

IERVOLINO, L. F. Sistema de Lodos Ativados, 2019. Disponível em: [Sistema de lodos ativados \(tratamentodeagua.com.br\)](http://Sistema de lodos ativados (tratamentodeagua.com.br)). Acesso em 16/06/2022

IGNACZUK, C. Como os processos manuais podem prejudicar os resultados da empresa? Movidesk, 2020. Disponível em: [Processos manuais: como eles podem prejudicar os seus resultados? \(movidesk.com\)](http://Processos manuais: como eles podem prejudicar os seus resultados? (movidesk.com)). Acesso em: 22/06/2022.

IRONHACK. O que é machine learning? 2019. Disponível em: <https://ironhack.com/br/data-analytics/o-que-e-machine-learning>. Acesso em: 12/06/2022

KUNZ, A., STEINMETZ, R., AMARAL, A. Fundamentos da Digestão Anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato 2nd edição. Sbera – EMBRAPA, 2022.

NUNES, J. A. Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais. Info graphics Gráfica e Editora Ltda. Aracaju, Brasil, 2008.

RAYMUNDO, K. K. C. Estudo de remoção de boro em efluente de galvanoplastia com utilização de óxido de magnésio, 2022. Disponível em: [Estudo de remoção de boro em efluente de galvanoplastia com utilização de óxido de magnésio -Portal TS](http://Estudo de remoção de boro em efluente de galvanoplastia com utilização de óxido de magnésio -Portal TS). Acesso em 25/07/2022

SACOMANO, J.B., et al. Indústria 4.0 Conceitos e Fundamentos. São Paulo: Editora Blucher, 2018

SANTOS, B. P., ALBERTO A. Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento (CEFET), vol. 4, 2018.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Lei nº 997, 1976.

SAPLA, R. B. Tratamento físico químico da vinhaça de destilaria de etanol com biopolímero à base de cálcio. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, p. 15-16. São Carlos, 2015.

SCHWAB, K. M. A quarta revolução industrial. Tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

UNEP (GEMS). Qualidade da Água para o Ecossistema e o Bem-Estar Humano, p. 56, 2008.