

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Eletrônica

**Desenvolvimento de Supervisórios Web no  
Âmbito de um Estudo de Caso de  
Implementação de Sistema SCADA Baseado  
em Protocolo OPC UA**

Autor: Alexandre dos Santos de Souza  
Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

Brasília, DF  
2022





Alexandre dos Santos de Souza

**Desenvolvimento de Supervisórios Web no Âmbito de um  
Estudo de Caso de Implementação de Sistema SCADA  
Baseado em Protocolo OPC UA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

Brasília, DF

2022

---

Alexandre dos Santos de Souza

Desenvolvimento de Supervisórios Web no Âmbito de um Estudo de Caso de Implementação de Sistema SCADA Baseado em Protocolo OPC UA/ Alexandre dos Santos de Souza. – Brasília, DF, 2022-

71 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2022.

1. OPC UA. 2. SCADA. I. Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Desenvolvimento de Supervisórios Web no Âmbito de um Estudo de Caso de Implementação de Sistema SCADA Baseado em Protocolo OPC UA

CDU 02:141:005.6

---

Alexandre dos Santos de Souza

# **Desenvolvimento de Supervisórios Web no Âmbito de um Estudo de Caso de Implementação de Sistema SCADA Baseado em Protocolo OPC UA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 05 de outubro de 2022:

---

**Prof. Marcus Vinícius Chaffim Costa,**  
**Dr.**  
Orientador

---

**Prof. Diogo Caetano Garcia, Dr.**  
Examinador interno

---

**Prof. Marcelino Monteiro de Andrade,**  
**Dr.**  
Examinador interno

Brasília, DF  
2022



*Ao meu pai que, apesar de não está aqui nesse plano pra compartilhar desse momento, sempre foi meu maior incentivador nos estudos e a minha mãe que sempre será meu modelo de retidão e a base mais sólida na minha vida.*



# Agradecimentos

Ao Pai Celestial, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar dias tão difíceis e chegar ao fim dessa importante etapa da minha vida.

À minha família, que mesmo de longe sempre se fizeram presentes, acreditando em mim quando eu mais duvidei das minhas capacidades e sempre compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho. À minha companheira Jéssica Vivian, em especial, por todo o apoio, ajuda e cuidado, por se fazer presente ao meu lado e me oferecer mais do que eu seria capaz de pedir.

Aos meus amigos, que me ajudaram a tirar forças pra continuar esse jornada, em especial a Carla e Murillo pelos conselhos, ensinamentos e paciência ao longo desses muitos anos.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso. Em especial, ao professor Marcus Cham, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.



# Resumo

A revolução digital nos países altamente industrializados como França, Itália, China, Japão, Estados Unidos e Alemanha já é uma realidade, onde desde 2011 quando foi apresentado pela primeira vez o conceito de indústria 4.0 esses países vêm discutindo os impactos desse novo paradigma no cenário de manufatura pelo mundo. Porém pesquisa recente da Confederação Nacional de Indústria (CNI) mostra o Brasil ainda muito longe dessas grandes potências, mostrando um grande desafio para a disseminação dessa tendência mundial, seja pelos altos custos das soluções comerciais ou pela mão-de-obra qualificada que está cada vez mais disputada em um mundo cada vez mais globalizado. No ambiente industrial as tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial como *big data analytics* (análise de enormes quantidades de dados), aprendizado de máquina e sistemas ciber físicos necessitam antes de mais nada de um grande volume de dados proveniente de uma fonte estável que consiga comunicar com várias fontes diferentes. Uma das soluções que permitem a migração de sistemas legado a essa nova transformação da indústria é o protocolo OPC UA, criado pela *OPC Foundation*, que tem por finalidade democratizar o acesso aos dados oferecendo uma interface única capaz de centralizar a comunicação industrial através de um protocolo aberto e acessível. Tendo em vista isso, esse trabalho apresenta um estudo de caso dos impactos observados em uma indústria de bebidas localizada na região Centro-Oeste do Brasil dois anos após implementação de um sistema de aquisição e armazenamento de dados industriais através de um servidor OPC desenvolvido utilizando a solução comercial da Siemens SIMATIC OPC *Server*. Os dados coletados apresentaram grande valor para a tomada de decisão, onde foi possível observar uma melhora no consumo energético dos últimos dois anos, fornecendo mais visibilidade aos principais consumidores de energia elétrica da fábrica. Além disso, o sistema também apresentou grande valor por meio do monitoramento do processo através de supervisórios web e sistemas de mensagens instantâneas que auxiliam na tomada de decisão, evitando paradas de linha, mais qualidade de trabalho para os operadores e mais facilidade no dia-a-dia de trabalho dos técnicos e instrumentistas.

**Palavras-Chaves:** OPC UA, Indústria 4.0, SCADA, Supervisórios, Microserviço.



# Abstract

The digital revolution in highly industrialized countries such as France, Italy, China, Japan, the United States and Germany is already a reality, where since 2011, when the concept of Industry 4.0 was first presented, these countries have been discussing the impacts of this new paradigm on the scenario of manufacturing around the world. However, a recent survey by Brazil's National Industry Confederation (CNI) shows that the country is still very far from these great powers, showing a big challenge for the dissemination of this global trend, either because of the high costs of commercial solutions or the qualified labor that is highly disputed in a world that is increasingly more globalized. In the industrial environment, the fourth industrial revolution's enabling technologies such as big data analytics, machine learning and cyber physical systems need, above all, a large volume of data from a stable source that can communicate with several different sources. One of the solutions that allow the migration of legacy systems to this new industry transformation is the OPC UA protocol, created by OPC Foundation, which aims to democratize access to data by offering a single interface capable of centralizing industrial communication through an open and accessible protocol. With this in mind, this work presents a case study of the impact observed in a beverage industry located in Brazil's center-west region two years after the implementation of an industrial data acquisition and storage system through an OPC server developed using the solution Siemens SIMATIC OPC Server. The data collected showed great value for decision-making, where it was possible to observe an improvement in energy consumption in the last two years, providing more visibility to the main consumers of electricity at the factory. In addition, the system also presented great value by monitoring the process through web supervisors and instant messaging systems that assist in decision making, avoiding line stops, better work quality for operators and easier day-to-day work activities for the technicians and instrumentalists.

**Keywords:** OPC UA, Industry 4.0, SCADA, Supervisory, Microservice. .



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo clássico da pirâmide de automação. . . . .	24
Figura 2 – Arquitetura de uma rede de duas camadas . . . . .	30
Figura 3 – Distribuição de Módulos e Componentes CLP S7-300 . . . . .	36
Figura 4 – Multimedidor SENTRON PAC3200. . . . .	38
Figura 5 – Esquemático de comunicação PAC3200 e SIMATIC NET OPC Server . . . . .	38
Figura 6 – Utilização do protocolo OPC UA na pirâmide de automação. . . . .	39
Figura 7 – Integração do sistema Siemens com o OPC Server. . . . .	41
Figura 8 – Evolução da Arquitetura de Microsserviços. . . . .	42
Figura 9 – Tecnologias disponíveis no ASP.NET para desenvolvimento de aplicações, páginas web e serviços . . . . .	42
Figura 10 – Gráfico de acompanhamento do indicador de energia por litro de bebida produzido. . . . .	48
Figura 11 – Indicadores de acompanhamento calculado a partir dos dados de consumo e produção. . . . .	49
Figura 12 – Gráfico de acompanhamento do indicador pacote produzido por KWh para empacotadora da linha 4 . . . . .	50
Figura 13 – Acompanhamento de Consumidores através das informações obtidas pelos PAC's 3200 (a). . . . .	51
Figura 14 – Acompanhamento de Consumidores através das informações obtidas pelos PAC's 3200 (b). . . . .	52
Figura 15 – Supervisório de acompanhamento do tanque de solução etílica para troca indireta de calor. . . . .	53
Figura 16 – Supervisório para acompanhamento do sistema de refrigeração. . . . .	54
Figura 17 – Supervisório para acompanhamento das variáveis operacionais do compressor de amônia 1. . . . .	55
Figura 18 – Painel para criação de grupos de variáveis de processo divididos por áreas . . . . .	56
Figura 19 – Painel para cadastro TAGS e acompanhamento das variáveis de processo. . . . .	57
Figura 20 – Painel de acompanhamento dos <i>blanders</i> de bebidas e linhas de envase correspondente . . . . .	58
Figura 21 – Painel de acompanhamento dos parâmetros operacionais da lavadora de garrafas retornáveis. . . . .	59
Figura 22 – Grupo de acompanhamento das variáveis do sistema de refrigeração. . . . .	60
Figura 23 – Grupo de acompanhamento consumo de energia por Subestação. . . . .	60
Figura 24 – Grupo de acompanhamento da captação e abastecimento de água . . . . .	61
Figura 25 – Grupo de acompanhamento das linhas de produção. . . . .	61

Figura 26 – Alerta sonoro acionado sempre que ocorre vazamento pelo ladrão do foculador da ETA. . . . .	62
Figura 27 – Repositório do Código Fonte do Supervisor do Compressor de Amônia.	71

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Uso das tecnologias digitais . . . . .	22
Tabela 2 – Evolução da Utilização das tecnologias digitais na Indústria entre os anos de 2016 e 2021 . . . . .	23
Tabela 3 – Classificação Geral das Redes Industriais . . . . .	31
Tabela 4 – Diferenças da Arquitetura de Rede Industrial por Função . . . . .	31
Tabela 5 – Estrutura do CLP . . . . .	36
Tabela 6 – Protocolos de comunicação para PROFIBUS. . . . .	40
Tabela 7 – Protocolos de comunicação para Ethernet Industrial . . . . .	40



# Lista de abreviaturas e siglas

AMR	<i>Advanced Manufacturing Research</i>
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	<i>cyber-physical system</i> (Sistema ciber físico)
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Humano Máquina
IoT	<i>Internet of Things</i> (Interinternet das Coisas)
MESA	<i>Manufacturing Enterprise Solutions Association</i>
ML	<i>Machine Learning</i> (Aprendizado de Máquina)
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
PAC	<i>Programmable Automation Controllere</i> (Controladores Programáveis para Automação)
TI	Tecnologia da Informação
TIA	<i>Totally Integrated Automation</i>
TPC/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
1.1	Contextualização	21
1.2	Justificativa	24
1.3	Objetivos	25
1.3.1	Objetivo Geral	25
1.3.2	Objetivos Específicos	25
1.4	Estrutura do Trabalho	25
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>27</b>
2.1	Revolução Digital na Indústria	27
2.2	Arquitetura da Automação Industrial	28
2.2.1	SCADA	28
2.2.2	MES	28
2.2.3	ERP	29
2.3	Rede Industrial	29
2.4	Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0	33
2.4.1	<i>Big Data Analytics</i>	33
2.4.2	Internet das Coisas	33
2.4.3	Computação em Nuvem	34
2.4.4	Sistema Ciber Físico	34
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>35</b>
3.1	Aquisição de Dados	35
3.1.1	CLP <i>SIMIENS S300</i>	36
3.1.2	Multimedidor <i>SETRON PAC3200</i>	37
3.2	Protocolo <b>OPC UA e SIMATIC NET OPC Server</b>	39
3.3	Tratamento e Disponibilização dos Dados	41
3.4	Armazenamento e Visualização do Dados	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>45</b>
4.1	Análise de Dados e Ações de Melhoria	45
4.2	Avaliação das Melhorias ao Sistema <b>SCADA</b>	46
4.3	Acompanhamento Excel	48
4.4	Supervisórios	53
4.5	Acompanhamento por Aplicativos de Mensagens Instantâneas	60
4.6	Alertas	62

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>65</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE: SUPERVISÓRIO WEB</b> . . . . .	<b>71</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

Nações altamente industrializadas, como as que compõem a União Europeia, consideram a indústria 4.0 como elemento central nas estratégias de suas empresas. Neste contexto, a Comissão Europeia e o Fórum Econômico Mundial emitiram relatórios avaliando os impactos que a Indústria 4.0 trará no âmbito empresarial, nos negócios e no mercado de trabalho (WEF, 2018). Por outro lado, segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), a indústria nacional brasileira ainda se encontra muito atrás no que se refere a disseminação de tecnologias digitais (CNI, 2022).

Uma pesquisa feita em 2016 pela CNI traz um panorama preocupante sobre o cenário tecnológico da indústria nacional. Por exemplo, das 2225 empresas entrevistadas, menos da metade (48%) utilizava alguma das 10 opções de tecnologias apresentadas como forma de aumentar a sua competitividade (CNI, 2016). A lista das tecnologias apresentadas às empresas é mostrada na Tabela 1.

A pesquisa mostra que o cenário do Brasil ainda está em processo de substituição das tradicionais linhas de montagem utilizando pessoas, e introduzindo a automação através da eletrônica, robótica e programação, porém ainda em um ritmo muito abaixo do necessário para ser competitiva mundialmente.

Em pesquisa recente, a CNI (2022) mostrou que em uma lista contendo 18 aplicações diferentes de tecnologias digitais (Tabela 2), 69% das empresas entrevistadas utilizam ao menos uma das opções apresentadas. Apesar do aumento na adesão dessas tecnologias, um outro indicador mostra que a maioria das empresas utilizam poucas tecnologias, tendo 26% delas utilizando de 1 a 3 tecnologias e somente 7% utilizando 10 ou mais.

Da lista de tecnologias digitais apresentadas às empresas nas pesquisas realizadas pela CNI (2022), uma que exerce um importante papel nessa transição para a indústria 4.0 são os chamados sistemas SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*), sendo um termo genérico para hardware, software e procedimentos usados para controlar, coletar e monitorar o processo industrial, e disponibilizar esses dados em supervisórios para a tomada de decisão, seja pela ação de um operador ou por sistemas automatizados (ENDI; ELHALWAGY et al., 2010).

Atualmente, três abordagens principais estão influenciando a tecnologia de automação, que são a Internet das Coisas (IoT do inglês, *Internet of Things*), os sistemas ciberfísicos (CPS do inglês, *cyber-physical system*) e a emergente Internet táctil. A aplicação das ideias de CPS e IoT ao domínio da automação industrial leva à definição do

conceito de Indústria 4.0, onde os sistemas SCADA permitem a gestão de processos em tempo real através do uso destas tecnologias de ponta, e também com o uso de sistemas de comunicação tradicionais (MERCHÁN et al., 2017).

A pesquisa mais recente da CNI mostra um aumento na adoção de sistemas MES (do inglês, *Manufacturing Execution Systems*) e SCADA nas indústrias brasileiras, porém a adesão ainda é pequena partindo de 7% na pesquisa realizada em 2016 para 17% em 2021, como é possível observar na Tabela 2 (CNI, 2022).

Tabela 1 – Uso das tecnologias digitais

Estágio/Foco	Tecnologia	Uso
Processo	Automação digital sem sensores	11%
	Automação digital com sensores para controle de processo	27%
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7%
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8%
Desenvolvimento/ redução de <i>time to market</i>	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19%
	Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	5%
	Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	5%
Produto/novos modelos de negócios	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados ( <i>big data</i> )	9%
	Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	6%
	Incorporação de serviços digitais nos produtos (“Internet das Coisas” ou <i>Product Service Systems</i> )	4%

Fonte: Adaptado de (CNI, 2016)

A transformação digital já é uma realidade observada nas indústrias mundo afora, tendo em vista essa necessidade crescente, surge em 2013 na feira de Hanover a *Plattform Industrie 4.0* com o propósito de coordenar a transformação digital da indústria buscando criar uma estrutura uniforme para os padrões globais (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2019).

Em abril de 2015, a *Plattform Industrie 4.0* foi expandida e, em 2018, por meio da cooperação em nível internacional, a plataforma usa seu conjunto globalmente exclusivo de conhecimentos técnicos e especializados para abordar questões transnacionais nas áreas de padronização, segurança de TI (Tecnologia da Informação) e estruturas legais cooperando com as principais iniciativas nacionais na França, Itália, China, Japão, Estados Unidos e na Europa, além de liderar a discussão sobre a transformação digital da indústria no

Tabela 2 – Evolução da Utilização das tecnologias digitais na Indústria entre os anos de 2016 e 2021

Foco	Tecnologia	2016	2021
Processo de produção/ gestão dos negócios	Automação digital com sensores para controle de processo	27%	46%
	Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável (CLP) sem sensores		39%
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8%	27%
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) do processo produtivo		21%
	Inspeção da qualidade automatizada ou avançada		18%
	Sistemas integrados de manufatura, como comunicação M2M (máquina-máquina)		17%
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7%	17%
	Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)		12%
	Ferramentas digitais que aumentam as capacidades dos trabalhadores (smart glasses, smart watches, etc.)		11%
	Aplicações de Inteligência Artificial para soluções na fábrica		9%
Desenvolvimento de produto	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos	19%	33%
	Prototipagem rápida, impressão 3D e similares		16%
	Simulações/análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.)	5%	13%
	Simulação de processos e gêmeos digitais (Digital Twins)		3%
Produto/novos modelos de negócios	Ferramentas digitais de relacionamento com o cliente ( <i>chatbots</i> , atendimento ao cliente interativo, etc.)		25%
	Incorporação de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou Product Service Systems)	4%	14%
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) sobre o mercado; monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores		13%
	Design assistido por inteligência artificial		4%

Fonte: Adaptado de (CNI, 2022)

contexto do G7/G20 (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2019).

Porém, os estudos recentes mostram que o impacto da adoção das tecnologias que possibilitam a concretização da sua implementação no cenário industrial brasileiro ainda se encontra incipiente e não inspira confiança para uma realidade amplamente difundida, sendo um desafio para o setor público e privado do país (OLIANI et al., 2020).

Segundo Azevedo (2017), as indústrias brasileiras em sua maioria operam sistemas SCADA no modelo piramidal de cinco camadas, como o exemplificado na Figura 1. Esse tipo de modelo permite atender as funções vitais na sociedade, mas o surgimento de tecnologias habilitadoras traz uma nova proposta para que se possa alcançar os resultados almejados pela transformação digital.

A última pesquisa realizada pela CNI traz uma nova informação, mostrado na Tabela 2, a respeito da utilização de sensores para controle de processos, indicando um

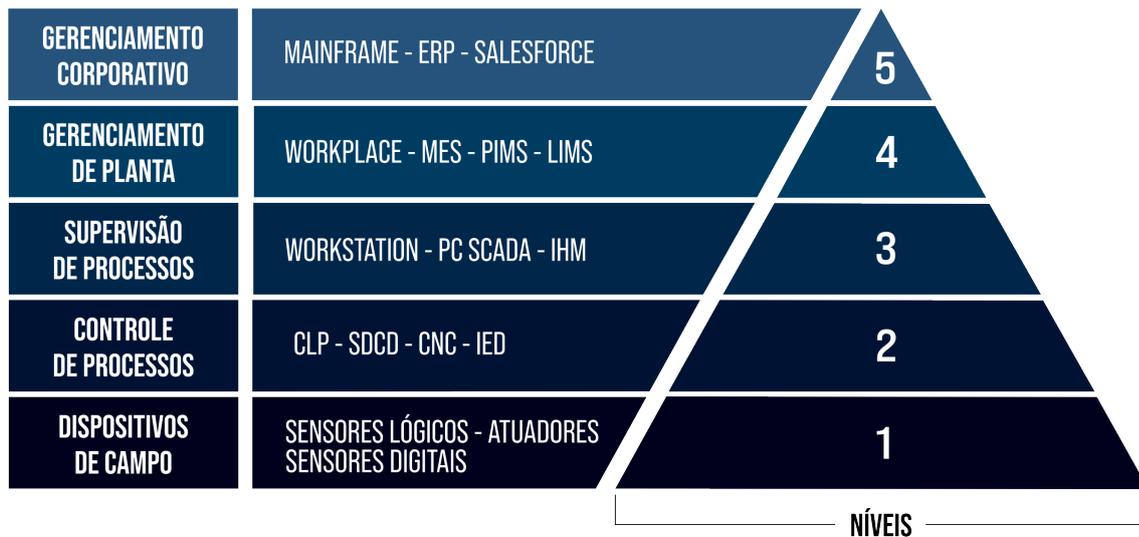


Figura 1 – Modelo clássico da pirâmide de automação. Fonte: Autor

aumento na adoção de 27% para 46% entre as empresas entrevistadas. Porém apenas 21% delas coleta, processa e analisa grandes quantidades de dados do processo produtivo (CNI, 2022). Sem uma base de dados contendo o histórico das suas variáveis de processo torna-se inviável o desenvolvimento de modelos de *Big Data Analytics*, Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de Máquina (ML, do inglês *Machine Learning*) que são tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0.

O pouco conhecimento sobre as tecnologias digitais e seus benefícios no ambiente industrial brasileiro indicam a necessidade de um esforço de disseminação de conhecimento sobre o tema. Dessa maneira é perceptível que existe um grande desafio na agenda de propostas e consequentemente nas políticas públicas voltadas às indústrias que sejam capazes de viabilizar e induzir o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil.

## 1.2 Justificativa

O cenário industrial brasileiro se mostra pouco eficiente na ampla adoção de novas tecnologias que já estão presentes nas indústrias mundo a fora, apresentando um longo caminho a ser trilhado para alcançar níveis similares. Os principais fatores que se tornam gargalos nessa adoção está relacionada principalmente com aos altos custos das soluções comerciais, que em sua maioria são trazidas por empresas estrangeiras, além da necessidade de mão de obra qualificada para sua implementação nas plantas.

Por tanto a disseminação de soluções que facilitam e democratizam a aquisição dos dados de chão de fábrica mostra-se de extrema importância na busca de contribuir para a mudança desse cenário. Com isso em vista, esse trabalho propõe apresentar um estudo de caso de um sistema SCADA implementado em uma fábrica de bebidas que utiliza um servidor OPC (do inglês, *Open Platform Communications*) como forma de acessar

informações de maneira mais dinâmica e serve como uma base de desenvolvimento para novas tecnologias que compõe o novo paradigma da Indústria 4.0, além de acrescentar valor e maior velocidade na adequação do ambiente fabril.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de caso sobre a implementação de um sistema SCADA desenvolvido utilizando um servidor OPC e apresentar algumas das soluções de sistemas supervisórios e de alertas desenvolvidas a partir dos dados coletados.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para que seja cumprido o objetivo geral proposto, foram definidos alguns objetivos intermediários a serem executados:

- Apresentar a implementação de um sistema SCADA utilizando a solução proprietária Siemens SIMATIC NET OPC Server;
- Apresentar as tecnologias utilizadas na criação de um cliente OPC;
- Avaliar o impacto da utilização do protocolo OPC UA no desenvolvimento de um sistema SCADA para aquisição e visualização dos dados em tempo real;
- Apresentar soluções de supervisórios e sistemas de alertas desenvolvidos a partir dos dados coletados para auxílio na tomada de decisões.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

Esse trabalho busca elucidar alguns dos principais desafios apresentado pela nova revolução industrial, a chamada indústria 4.0, trazendo o cenário atual do Brasil e apresentando um conceito de migração através da habilitação de sistemas legados com o auxílio de novas tecnologias.

O trabalho divide-se em cinco capítulos denominados Introdução (Capítulo 1), Fundamentação Teórica (Capítulo 2), Materiais e Métodos (Capítulo 3), Resultados e Discussão (Capítulo 4) e Conclusões (Capítulo 5).

O Capítulo 1 e o Capítulo 2 lidam com a abordagem geral do estudo sobre o tema em questão e apresentam os objetivos que se deseja alcançar ao longo do trabalho. Também são discutidos nesses capítulos o cenário atual da indústria no Brasil, um panorama geral da evolução da indústria, bem como sua estrutura básica no que tange a automação

industrial e uma breve apresentação sobre algumas das tecnologias que compõe a indústria 4.0,

No Capítulo 3 é apresentada a composição do estudo desse trabalho, apresentando todo o fluxo de aquisição de dados, as principais tecnologias envolvidas, o tratamento e armazenamento das informações provenientes do chão de fábrica e a transformação desse dado em informação relevante para a tomada de decisão.

O Capítulo 4 traz uma análise dos impactos observado após a implementação do sistema, trazendo todos os resultados obtidos e os sistemas desenvolvidos a partir dos dados coletados, concluindo-se o trabalho no capítulo 5 onde é sintetizado os principais pontos abordados no texto e feita uma avaliação se os resultados encontrados estão de acordo com os objetivos definidos.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Revolução Digital na Indústria

As chamadas revoluções industriais são caracterizadas pela introdução de novas tecnologias no processo de fabricação. A primeira revolução foi marcada pelo uso do carvão como combustível, dando origem as máquinas a vapor. A segunda revolução foi caracterizada pela utilização do combustível fóssil e a descoberta do eletromagnetismo; na sequência, a utilização da eletricidade em detrimento do vapor fez surgir a produção em massa, que acelerou o ritmo industrial, reduzindo os custos de fabricação e aumentando a escala dos produtos (AZEVEDO, 2017) (COELHO, 2016).

A terceira revolução industrial foi marcada pelo uso de eletrônicos, após a descoberta dos semicondutores, bem como a introdução da TI atingindo assim a automação da manufatura através dos sistemas SCADA e introdução dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP) (AZEVEDO, 2017).

Sistemas automatizados contribuem de diversas maneiras para o aumento da competitividade em uma empresa. A automação industrial consiste em manipular os processos na indústria por meios mecânicos e automáticos, visando a substituição do trabalho humano em tarefas repetitivas (TEIXEIRA; VISOTO; PAULISTA, 2016).

Dentro desse desenvolvimento, a transformação digital é parte de um grande processo tecnológico e está associada à aplicação da tecnologia digital em todos os aspectos da sociedade humana, porém ainda não existe uma determinação clara e amplamente aceita para definir o conceito de transformação digital (AZEVEDO, 2017) (KHAN, 2016). Sendo a digitalização relacionada à concepção de transformar os processos físicos em processos virtuais, a transformação digital pode ser definida como o efeito da digitalização, não sendo, portanto, somente a adoção de novas tecnologias, mas também de novas maneiras de tornar os negócios mais eficientes e competitivos (KHAN, 2016) (COLLIN et al., 2015).

Na linha evolutiva das revoluções industriais, o termo Indústria 4.0 foi usado pela primeira vez na Feira de Hannover, na Alemanha, em 2011 onde se discutiam como as novas tecnologias iriam impactar as cadeias de produção ao redor do mundo (SCHWAB, 2016). Assim como as revoluções anteriores são caracterizadas pela integração de novas tecnologias, esse novo modelo promove disrupção através de CPS, *big data analytics* e computação em nuvem, tendo a internet como a ferramenta que possibilita todos esses novos conceitos(AZEVEDO, 2017).

## 2.2 Arquitetura da Automação Industrial

### 2.2.1 SCADA

Os sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA) são componentes vitais das infraestruturas críticas da maioria das nações. Eles são responsáveis pelo controle dos sistemas de abastecimento de água, refinarias, plantas químicas e uma ampla variedade de operações de fabricação (KRUTZ, 2005).

Uma das definições mais utilizadas para descrever um sistema SCADA foi cunhada por Boyer (1999) como sendo um sistema que permite ao usuário coletar dados de uma ou mais instalações e/ou enviar instruções de controle limitadas para essas instalações. Uma definição mais recente o descreve como um sistema informatizado projetado para o controle e monitoramento de processos tecnológicos, que inclui componentes de software e hardware, podendo esse último ser dividido em dois componentes principais: servidores e clientes (NICOLA et al., 2018).

O servidor está conectado à vários sistemas de aquisição de dados através da rede industrial, sendo que os dispositivos mais amplamente adotados nas indústrias são os CLPs, que são responsáveis por coletar e enviar os dados dos sensores, sendo também o principal responsável pelo controle de processo mostrado na Figura 1. Os dados coletados são então enviados ao servidor, que irá por sua vez tratar, armazenar e por fim disponibilizar os dados aos clientes (NICOLA et al., 2018).

O cliente conecta-se ao servidor através da rede industrial e disponibiliza os dados coletados ao operador do sistema através de uma IHM (Interface Humano Máquina) ou supervisórios, oferecendo ao usuário do sistema formas de operar e acompanhar o processo de maneira mais simples e intuitiva (NICOLA et al., 2018).

### 2.2.2 MES

Com as necessidades contemporâneas advindas da revolução digital, as indústrias de manufatura vêm buscando cada vez mais, alta qualidade, baixo custo e *lead time* mínimo para se manterem competitivas. Dessa maneira, os sistemas MES (Sistemas de Execução de Manufatura) se destacam por serem responsáveis por fazerem a ponte entre o planejamento de produção e o sistema de controle de equipamentos (YOUNUS et al., 2010).

A MESA (*Manufacturing Enterprise Solutions Association*) *International*, organização sem fins lucrativos voltada a comunidade global de fabricantes, produtores, líderes do setor e fornecedores de soluções, traz a seguinte definição:

“Os Sistemas de Execução de Manufatura (MES) fornecem informações que

permitem a otimização das atividades de produção desde o lançamento do pedido até os produtos acabados. Usando dados atuais e precisos, o MES orienta, inicia, responde e relata as atividades da planta à medida que ocorrem. A resposta rápida resultante às condições de mudança, juntamente com o foco na redução de atividades sem valor agregado, impulsiona operações e processos eficazes da planta. O MES melhora o retorno dos ativos operacionais, bem como entrega no prazo, giro de estoque, margem bruta e desempenho do fluxo de caixa. O MES fornece informações de missão crítica sobre as atividades de produção em toda a empresa e na cadeia de suprimentos por meio de comunicações bidirecionais (MESA, 1997).”

O sistema passou a ter certa relevância no setor industrial no final da década de 1970, porém as empresas funcionavam como uma ilha de automação sem um sistema global de informações integradas. Foi somente na década de década de 1990, quando a empresa americana de pesquisa e consultoria Advanced Manufacturing Research (AMR) propôs o modelo de integração empresarial em três camadas conhecido atualmente, que as indústrias passaram a reconhecer a necessidade de um sistema de negócios e a integração do sistema de controle com a camada intermediária do MES (YOUNUS et al., 2010).

### 2.2.3 ERP

Planejamento de Recursos Empresariais (ERP do inglês *Enterprise Resources Planning*) consiste em um software que inclui gerenciamento de pedidos de clientes, planejamento de produção e materiais, gerenciamento de recursos humanos e gerenciamento de finanças e custos (YOUNUS et al., 2010).

A arquitetura básica de um sistema ERP se baseia em um banco de dados, um aplicativo e uma interface unificada em toda a empresa. Uma organização inteira é, portanto, capaz de operar sob um padrão de aplicação, onde todos os aplicativos que atendem aos aspectos de recursos humanos, contabilidade, vendas, fabricação, distribuição e gerenciamento da cadeia de suprimentos estão firmemente integrados (AL-MASHARI; AL-MUDIMIGH; ZAIRI, 2003).

## 2.3 Rede Industrial

A automação industrial busca soluções que permitam um sistema aberto com possibilidade de diagnóstico, maior tolerância a falhas, blocos de funções, conectividade com diversos protocolos, e uma série de outras características que tornam um sistema de controle completo e não somente um simples barramento de comunicação com integrações proprietárias (CASSIOLATO, 2012).

Existem várias classificações de redes industriais, como pode ser observado na Tabela 3, porém cada uma dessas classificações é voltada para níveis diferentes dentro da pirâmide de automação (Figura 1). No ambiente industrial a rede é comumente diferenciada em três tipos: rede de informação, rede de controle e a rede de campo (*fieldbus*) (CASSIOLATO, 2012).

A rede de informação é responsável pela troca de informação no nível 4 e 5 da pirâmide industrial (Figura 1), a rede de controle é responsável pela troca de informações entre os CLPs (nível 2) com os sistemas SCADA (nível 3) e MES (nível 4). Por último, a rede de campo é responsável pela troca de informações entre sensores e atuadores com os CLPs (CASSIOLATO, 2012). É possível observar na Tabela 4 as suas distinções por funções.

Em uma rede industrial, a disponibilidade de dados geralmente é priorizada em relação à integridade e confidencialidade dos dados. Dessa forma, é mais recorrente o uso de protocolos *real-time*, transporte UDP (do inglês *User Datagram Protocol*) e redes tolerantes a falhas que conectam as camadas de controle com o chão de fábrica, é possível ver um exemplo de uma arquitetura de rede industrial mostrada na figura 2 (KNAPP; LANGILL, 2014).

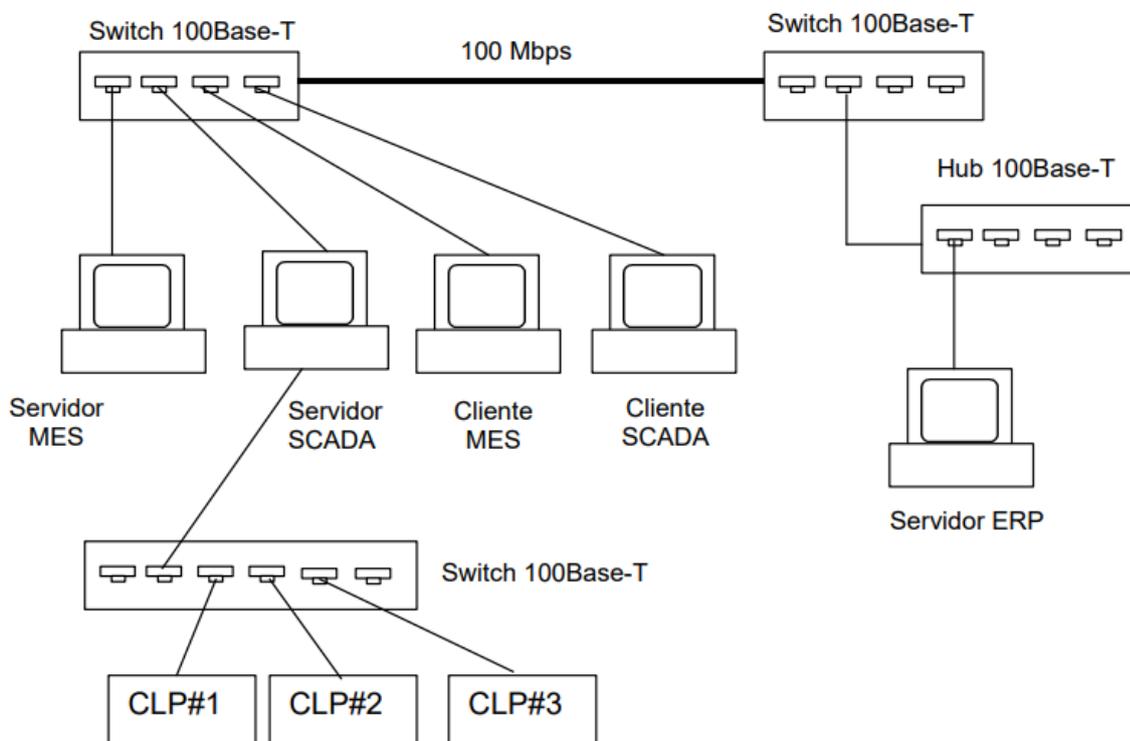


Figura 2 – Arquitetura de uma rede de duas camadas. Fonte: (FILHO, 2002)

A largura de banda e a latência em redes industriais são extremamente importantes, porque os aplicativos e protocolos em uso suportam operações em tempo real que

dependem de comunicação determinística, muitas vezes com requisitos de tempo precisos (KNAPP; LANGILL, 2014).

Tabela 3 – Classificação Geral das Redes Industriais

Classificação Geral	
Quanto a topologia física	- Barramento - Anel - Estrela - Árvore
Quanto ao modelo de redes	- Origem-destino - Produtor-consumidor
Quanto ao método de troca de dados	- Pooling - Cíclica - Mudança de estado
Quanto ao tipo de conexão	- Ponto a ponto - Múltiplos pontos
Quanto ao modo de transmissão	- Transmissão serial - Transmissão paralela
Quanto a sincronização de bits	- Transmissão síncrona - Transmissão assíncrona
Quanto ao modo de operação	- Modo Simplex - Modo Half Duplex - Modo Full Duplex
Quanto ao tipo de comutação	- Comutação de circuitos - Comutação de pacotes

Fonte: Adaptado de Cassiolato (2012)

Tabela 4 – Diferenças da Arquitetura de Rede Industrial por Função

Função	Rede de Campo	Rede de Controle	Rede de Informação
Operação em tempo real	Crítico	Alta	Melhor esforço
Confiança/Resiliência	Crítico	Alta	Melhor esforço
Largura de Banda	Baixo	Medio	Alto
Sessão	Pouca, explicitamente definida	Pouca	Muita
Latência	Baixa, consistente	Baixa, consistente	N/A, aceita retransmissão
Rede	Serial, Ethernet	Ethernet	Ethernet
Protocolo	<i>Real-Time</i> , proprietário	<i>Near Real-Time</i> , aberto	<i>Non Real-Time</i> , aberto

Fonte: Adaptado de Knapp e Langill (2014)

Knapp e Langill (2014) definem protocolos industriais como uma forma de comunicação em tempo real, desenvolvidos para interconectar os sistemas, interfaces e instrumentos que compõem um sistema de controle industrial e os divide em duas categorias comuns: *fieldbus* e protocolos de *back-end*.

*Fieldbus* é usado para representar uma ampla categoria de protocolos que são comumente encontrados em processo e controle, sendo o padrão IEC 61158 um dos primeiros documentos que estabeleceu uma base de oito conjuntos de protocolos diferentes, sendo modificado posteriormente pelo padrão IEC 61784 que altera a lista original e inclui um total de nove “perfis” de protocolo: FOUNDATION Fieldbus, CIP, PROFIBUS/PROFINET, P-NET, WorldFIP, INTERBUS, CC-Link, HART e SERCOS (KNAPP; LANGILL, 2014).

Os protocolos de *back-end* são comumente implantados em redes de supervisão ou acima e são usados para fornecer comunicação eficiente de sistema para sistema, em oposição ao acesso a dados (KNAPP; LANGILL, 2014).

Historicamente, as comunicações industriais foram desenvolvidas em interfaces baseadas em comunicação serial que foram originalmente criadas por diferentes empresas e posteriormente se tornaram padrões. Devido ao longo ciclo de vida dos sistemas industriais, muitos protocolos seriais, incluindo PROFIBUS e Modbus com configurações mestre-escravo, ainda são muito populares (LIN; PEARSON et al., 2018).

PROFIBUS é a tecnologia *fieldbus* mais bem-sucedida do mundo e é amplamente implantada em sistemas de automação industrial, incluindo automação de fábricas e processos. Ela fornece comunicação digital para dados de processo e auxiliares com velocidades de até 12 Mbps e suporta até 126 endereços (LIN; PEARSON et al., 2018).

Modbus é um barramento serial simples, robusto e publicado abertamente que conecta até 247 nós no link. Possui fácil implementação e roda em links físicos RS-232 ou RS-485 com velocidades de até 115Kbps (LIN; PEARSON et al., 2018).

A Ethernet está se tornando onipresente e econômica, com redes físicas comuns e maior velocidade. Dessa maneira, muitos protocolos de comunicação industrial estão migrando para soluções baseadas nesse padrão. Entre os protocolos disponíveis o mais amplamente utilizado é o PROFINET (LIN; PEARSON et al., 2018).

Existem três classes diferentes de protocolo PROFINET. O PROFINET Classe A fornece acesso a uma rede PROFIBUS através de proxy, unindo Ethernet e PROFIBUS através de um procedimento remoto chamando em TCP/IP (do inglês, *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). O PROFINET Classe B, também conhecido como PROFINET *Real-Time* (PROFINET RT), apresenta uma abordagem em tempo real baseada em software e reduziu o tempo de ciclo para cerca de 10 ms. O PROFINET Classe C (PROFINET IRT) é isócrono e opera em tempo real, exigindo *hardware* especial para reduzir o tempo de ciclo para menos de 1 ms para fornecer desempenho suficiente na Ethernet industrial em tempo real para operações de controle de movimento (LIN; PEARSON et al., 2018).

## 2.4 Tecnologias Habilitadoras da Indústria 4.0

### 2.4.1 *Big Data Analytics*

O termo *big data* diz respeito à incapacidade das tradicionais arquiteturas de dados em fornecer uma maneira eficaz de manusear grandes volumes de dados, sendo requerido uma arquitetura escalável para armazenar, manipular e analisar todo esse conjunto (AZEVEDO, 2017).

Dentro do conceito de Indústria 4.0, *big data* é a agregação de todos os dados coletados dentro do ambiente industrial através de protocolos de comunicação, de modo que a sua plataforma de implantação é escolhida com base em critérios tais como velocidade de computação, custo de investimento, facilidade de implantação e atualização, etc. (LEE; KAO; YANG, 2014).

O termo análise de dados refere-se ao uso de tecnologias de *business intelligence* e *analytics* que são pautada na aplicação de técnicas estatísticas e de mineração de dados nas organizações para produzir valor comercial adicional (GOKALP et al., 2016). O atual processamento de grandes volumes de dados em informações úteis é a chave da inovação sustentável dentro de uma fábrica da Indústria 4.0 (LEE; KAO; YANG, 2014).

A competitividade do ambiente de negócios tem exigido tomadas de decisão cada vez mais rápidas buscando melhorar sua produtividade, o que tem acarretado desafios em questões de *big data* onde muitos sistemas de manufatura não estão prontos para gerenciá-los devido à falta de ferramentas analíticas. O gerenciamento e distribuição de dados no ambiente de *big data* é fundamental para alcançar máquinas capazes de autoaprendizagem (LEE; KAO; YANG, 2014).

### 2.4.2 Internet das Coisas

Internet das Coisas é formada por dispositivos físicos, veículos, edifícios e outros itens de eletrônica embarcada com software, sensores, atuadores conectados por rede que permitem que esses objetos colem e troquem dados (OZTEMEL; GURSEV, 2020). Ela também pode ser definida como uma rede de objetos físicos endereçáveis e exclusivamente identificáveis que permitem a criação de dados contextuais massivos em tempo real para dar suporte à análise de dados (AHMAD et al., 2022).

A IoT surgiu como um novo paradigma tecnológico concebido para permitir a interoperabilidade de máquinas e dispositivos pela internet. Sua estrutura envolve o uso de milhões de dispositivos inteligentes que são capazes de compartilhar e processar dados de forma eficiente entre si, fornecendo assim sistemas confiáveis de monitoramento e controle (HADDADPAJOUH et al., 2021).

### 2.4.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem tem como objetivo permitir o acesso a grandes quantidades de poder computacional de forma totalmente virtualizada, agregando recursos e oferecendo uma visão única do sistema (VOORSLUYS; BROBERG; BUYYA, 2011).

O acesso a recursos de computação através de aluguel de Máquinas Virtuais (VMs do inglês, *Virtual Machine*) e espaço de armazenamento é o pilar da computação em nuvem, pois permite que os usuários acessem a infraestrutura de TI de que precisam apenas quando precisam, ajustem a quantidade de recursos usados de maneira flexível e paguem apenas pelo que foi usado, tudo isso com um alto grau de controle sobre os recursos (BUYYA et al., 2018).

Embora não exista um consenso sobre a definição da computação em nuvem, Voorluys, Broberg e Buyya (2011) trazem quatro características comuns entre as definições mais aceitas:

- *Pay-per-use* (O usuário paga apenas pelo que utiliza de maneira similar a serviço utilitários como energia, água, gás);
- Capacidade elástica e ilusão de recursos infinitos;
- Interface de autoatendimento;
- Recursos que são abstraídos ou virtualizados.

### 2.4.4 Sistema Ciber Físico

Sistemas Ciber-Físicos (CPS) são sistemas que integram computação, redes de comunicação, sistemas embarcados e processos físicos interagindo entre si e influenciando-se mutuamente (COELHO, 2016).

Geralmente consiste em três elementos principais: sensores, atuadores e controladores. Esses três elementos ajudam a reduzir o custo de operação e otimizar o período de processamento de dados (JAMALUDIN; ROHANI, 2018).

Trata-se, portanto, de uma área de pesquisa emergente que conta com sobreposição e integração de vários campos da ciência e da engenharia, e relacionam-se com termos atualmente populares, tais como: IoT, Indústria 4.0, Internet Industrial e Computação em nuvem. A junção dessas tecnologias forma os sistemas ciber físicos (LIU et al., 2017) (AZEVEDO, 2017).

## 3 Materiais e Métodos

O desenvolvimento metodológico tem a finalidade de atender aos objetivos definidos neste trabalho. Desta forma, as etapas adotadas para o desenvolvimento da pesquisa proposta são descritas neste capítulo, ao qual abordará cada etapa do sistema estudado.

A primeira etapa dos objetivos propostos é coberta neste capítulo onde será apresentada a ferramenta SIMATIC NET OPC Server, suas principais funcionalidades e como é feita sua integração ao sistema estudado, bem como a comunicação com os dispositivos de controle para a aquisição dos dados e a disponibilização destes aos clientes OPC. Serão também apresentadas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento dos supervisórios desenvolvidos como proposta de melhoria do sistema.

A segunda etapa do trabalho é avaliar os impactos gerados a partir da implementação do sistema de controle supervisão e aquisição de dados em uma fábrica de bebidas localizada no centro-oeste do Brasil. Devido a confidencialidade dos dados, será preservado a identificação da empresa.

A metodologia descrita é classificada como estudo de caso, caracterizado como uma metodologia investigativa e de caráter empírico para explorar uma situação real a partir das evidências dos dados atuais de produção e consumo energético obtidos após a implementação do sistema de aquisição de dados aplicado a indústria do estudo. É um trabalho avaliativo, apoiado na fundamentação teórica, comparando os resultados obtidos nos indicadores de energia da indústria a partir da implementação do sistema estudado.

Além do estudo de caso da implementação do sistema SCADA e serviços que disponibilizam os dados coletados do processo fabril, esse trabalho contribui com algumas soluções de sistemas supervisórios e *dashboards* que foram desenvolvidos pelo autor de forma a contribuir com o acompanhamento das variáveis de processo e fornecer dados que colaboram com o melhor entendimento do processo e assim serem tomadas decisões mais assertivas.

### 3.1 Aquisição de Dados

Nessa etapa será tratado somente os principais dispositivos responsáveis por coletar as informações e enviá-las ao servidor, que se localizam no nível 2 da pirâmide de automação industrial mostrada na Figura 1.

### 3.1.1 CLP SIMIENS S300

De modo geral, um controlador programável é constituído por cinco estruturas básicas: processador, memória, sistema de entradas/saídas (I/O do inglês *Input/Output*), fonte de alimentação e terminal de programação. Os itens são melhor detalhados na Tabela 5 (FARIA et al., 2006).

A Unidade Central de Processamento (CPU do inglês *Central Processing Unit*) é a parte principal do CLP e ela é composta por processador, memória e fonte de alimentação, sendo o processador o responsável por receber os dados de entrada do sistema, executar o programa armazenado na memória e comandar os dispositivos de controle através das suas saídas, o chamado ciclo de varredura (FARIA et al., 2006).

Tabela 5 – Estrutura do CLP

Racks	Gabinetes onde os módulos são acomodados e conectados entre si.
Fonte de Alimentação (PS)	Fornece as tensões necessárias ao funcionamento dos equipamentos.
Unidade Central de Processamento (CPU)	Armazena e executa o programa de usuário.
Módulos de Interface (IMs)	Conecta os racks entre si.
Sub-redes	Conecta o controlador programável a cada um ou a outro dispositivo.
Processadores de Comunicação (CPs)	Estabelece a conexão com as redes auxiliares.
Módulos de I/O	
Módulos de Sinal (SMs)	Adapta os sinais vindos um sistema para os níveis internos de sinal ou atuadores controlados por sinais digitais <sup>1</sup> e analógicos <sup>2</sup> .
Módulos de Função (FMs)	Executa processos complexos ou de tempo crítico independentemente da CPU.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022) com base em FARIA et al. (2006).

<sup>1</sup>Digital: 24Vdc, 48-125V DC, 120/230V AC, relé, etc.

<sup>2</sup>Analógico:  $\pm 5V$ , 0-10V, 0/4 até 20mA, resistência, temperatura, etc.

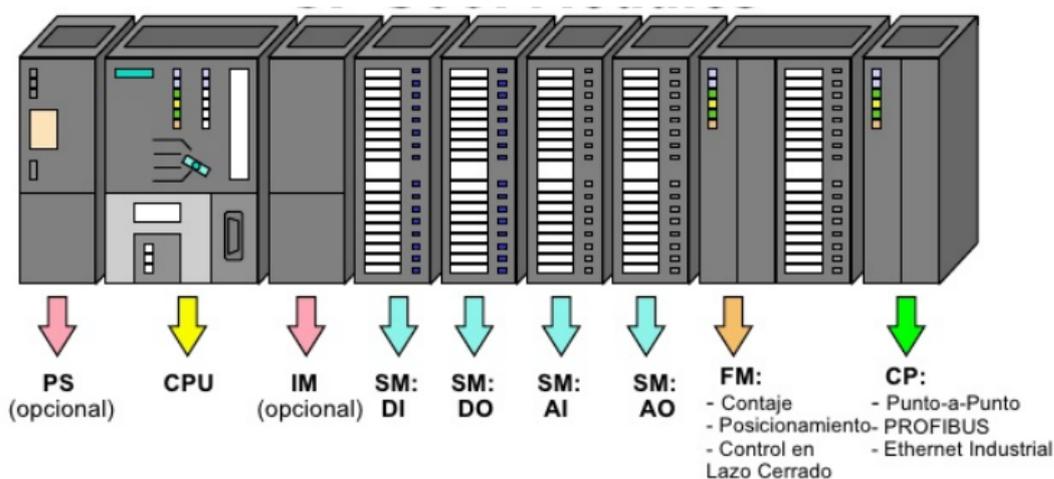


Figura 3 – Distribuição de Módulos e Componentes CLP S7-300. Fonte: (ADDOWEESH, 2005)

A Figura 3 exemplifica o modelo de CLP S7-300 da fabricante Siemens. A sua programação é feita através do *software* proprietário Simatic Manager e é através dele que são gerenciadas as aplicações que podem integrar todos os programas de configuração e programação de uma linha de automação (FARIA et al., 2006). A compilação e envio do programa criado para o CLP pode ser desenvolvida em três linguagens: *Ladder Diagram* (LAD), *Function Block Diagram* (FBD) e *Statement List*(STL).

As funções de comunicação são a interface do programa do usuário para o serviço de comunicação. Para comunicações internas do SIMATIC S7, as funções de comunicação são integradas no sistema operacional da CPU e são chamadas através de blocos de sistema. Blocos carregáveis estão disponíveis para comunicação com dispositivos não-Siemens por meio de processadores de comunicação (BERGER, 2012).

A comunicação dos CLPs S7-300 é feita através de sub-redes, que diferem entre si pelas suas capacidades de desempenho. A comunicação MPI (do inglês *Multipoint Interface*) caracteriza-se por ser um método de conexão de baixo custo, voltado à alguns dispositivos SIMATIC, designados para transferência de pequenos volumes de dados. A comunicação *PROFIBUS* possui alta velocidade de transferência e é utilizada para pequenos e médios volumes de dados. A Ethernet Industrial é a comunicação mais comum entre computadores e CLPs, possui alta velocidade de transferência voltada para grandes volumes de dados, usado com entradas e saídas distribuídas (PROFINET IO), também conhecidas como remotas (BERGER, 2012).

### 3.1.2 Multimedidor SENTRON PAC3200

Controladores Programáveis para Automação (PAC do inglês *Programmable Automation Controller*) assim como os CLPs SENTRON PAC 3200 possuem várias funções úteis para monitoramento, diagnóstico e serviço técnico, além de possuir um contador de energia ativa e reativa e um contador de horas de operação para monitorar o tempo de serviço (SIEMENS, 2008).

O controlador apresenta um design compacto, o que o torna um bom substituto para instrumentos analógicos convencionais, além de possuir uma ampla faixa de tensões. O SENTRON PAC 3200 com fonte de alimentação universal permite conectá-lo diretamente a qualquer rede de baixa tensão, até uma tensão nominal de rede de 690 V, bem como em conexões diretas de até 500V. Já para tensões mais altas devem ser usados transformadores. A aferição de corrente é realizada com o auxílio de transformadores de corrente próprios que vêm em vários tamanhos, como por exemplo, x/1 A., x/5 A (SIEMENS, 2008). a

A comunicação com servidor pelo CLP é feita via rede PROFIBUS e protocolo S7 (Figura 7) e o PAC comunica via Ethernet Industrial através do procolo Modbus TCP



Figura 4 – Multimedidor SENTRON PAC3200. Fonte: (SIEMENS, 2011)

(Figura 5). Nesse contexto, foram desenvolvidos serviços que fazem o papel do cliente OPC, que recebe as informações convertidas ao protocolo OPC UA do servidor, que por sua vez, capta os dados provenientes dos dispositivos citados e os disponibilizam para serem utilizados no desenvolvimento dos supervisórios, sistemas de alertas e informativos por meio de aplicativos de mensagens instantâneas.

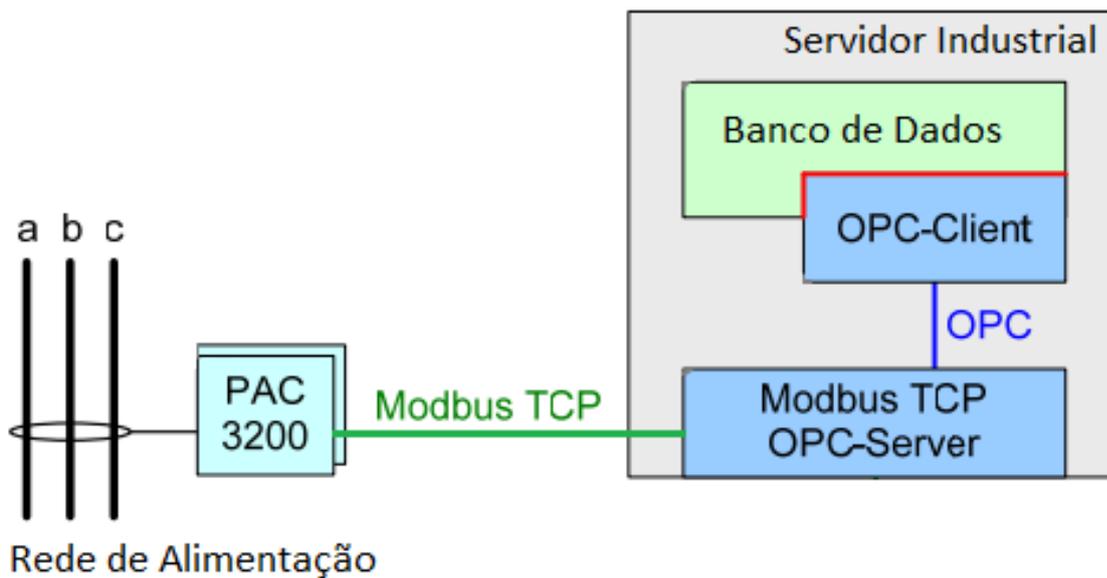


Figura 5 – Esquemático de comunicação PAC3200 e SIMATIC NET OPC Server. Fonte: Autor

## 3.2 Protocolo OPC UA e SIMATIC NET OPC Server

A evolução da manufatura foi pautada em padrões que facilitaram a sua evolução globalmente e para o conceito indústria 4.0 não é diferente, sendo um dos pilares para a sua disseminação (ZEZULKA et al., 2022). À medida que novas soluções foram criadas, uma ampla gama de *drivers* de comunicação foram desenvolvidos para conectar os servidores aos controladores de forma que um único servidor possa alcançar comunicação simultânea em vários protocolos. (NICOLA et al., 2018).

O cenário com inúmeros fornecedores de equipamentos de automação que usam seus próprios protocolos para se comunicar, além da grande variedade de interfaces de rede, trouxe a necessidade de uma interface de comunicação padrão (ENDI; ELHALWAGY et al., 2010). Atualmente a *OPC Unified Architecture* (OPC UA) é uma das tecnologias mais eficazes desenvolvidas para comunicação máquina-a-máquina na automação industrial e usada como um dos padrões não escritos para comunicação industrial (MERCHÁN et al., 2017) (ZEZULKA et al., 2022).

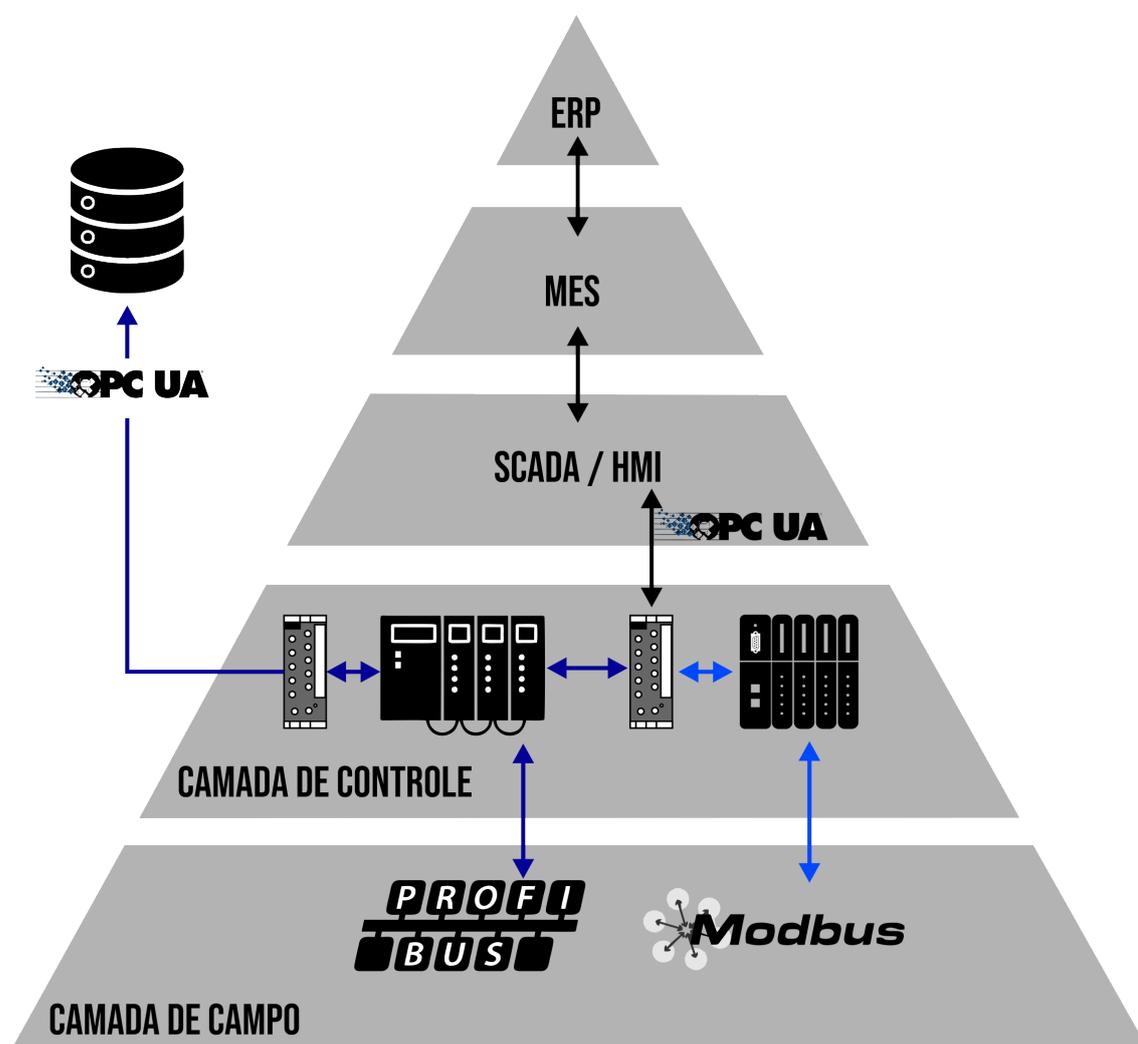


Figura 6 – Utilização do protocolo OPC UA na pirâmide de automação. Fonte: Autor

SIMATIC NET é o nome de toda uma família de redes e produtos de comunicação da Siemens. Suas redes e produtos de comunicação são componentes da *Totally Integrated Automation* (TIA) e possibilitam a implementação de soluções de automação específicas devido a suas funções de comunicação abrangentes e altamente integradas (SIEMENS, 2016).

Existem duas redes de comunicação que são utilizadas no SIMATIC NET, a rede PROFIBUS e Ethernet Industrial. Cada uma das redes possuem uma série de protocolos que permitem a comunicação entre componentes e dispositivos de automação de forma a atender aos mais variados requisitos de aplicações de engenharia de automação, os protocolos de cada uma são listados na Tabela 6 e 7 (SIEMENS, 2016).

Tabela 6 – Protocolos de comunicação para PROFIBUS.

Protocolo	Descrição
SEND/RECEIVE	Serviços de comunicação simples baseados em PROFIBUS FDL para troca de dados com dispositivos S5 e S7.
Mestre DP (classe 1)	Leitura cíclica dos dados de entrada e configuração dos dados de saída dos escravos DP.
Mestre DP (classe 2)	Acesso cíclico para diagnóstico e comissionamento de um sistema DP.
DPC1	Leitura cíclica dos dados de entrada e configuração dos dados de saída dos escravos DP, acesso acíclico aos registros de dados dos escravos DP com expansão DPV1.
DPC2	Acesso cíclico para diagnóstico e comissionamento de um sistema DP, acesso acíclico a registros de dados de escravos DP com expansão DP V1.
Escravos DP	Aquisição, conversão e transferência de sinais de processo.
Protocolo S7	Funcionalidade de comunicação integrada e otimizada dos sistemas SIMATIC S7 para uma ampla gama de aplicações

Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2016)

Tabela 7 – Protocolos de comunicação para Ethernet Industrial

Protocolo	Descrição
SEND/RECEIVE	Serviços de comunicação simples baseados em PROFIBUS FDL para troca de dados com dispositivos S5 e S7.
Protocolo S7	Funcionalidade de comunicação integrada e otimizada dos sistemas SIMATIC S7 para uma ampla gama de aplicações
Protocolo S7 (tolerante a falhas)	Funções de comunicação integradas e otimizadas dos sistemas SIMATIC S7 em caminhos redundantes e tolerantes a falhas.
Protocolo SNMP	Protocolo aberto para administração de redes.
PROFINET IO	Comunicação entre dispositivos PROFINET

Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2016)

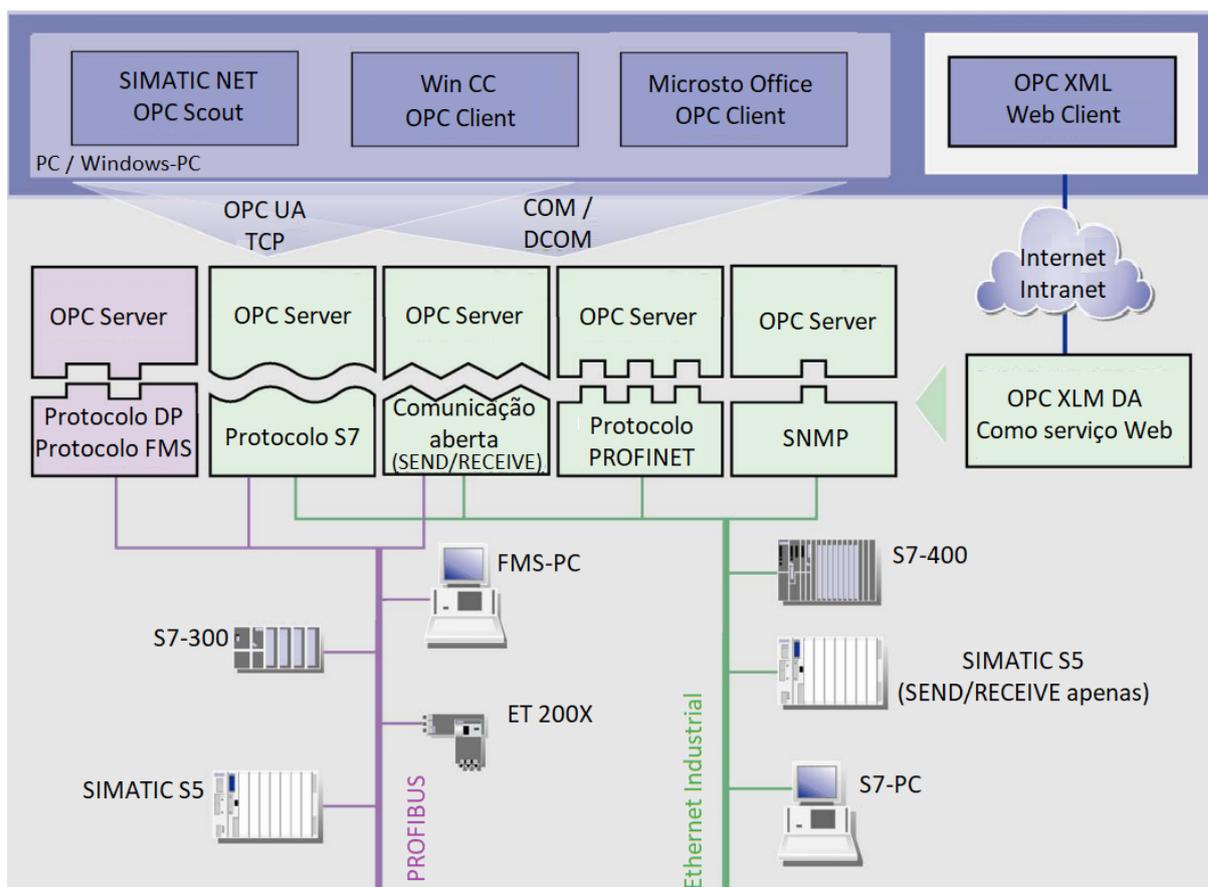


Figura 7 – Integração do sistema Siemens com o OPC Server. Fonte: Adaptado de (SIEMENS, 2016)

A Figura 7 mostra como funciona a integração realizada entre protocolos proprietários da Siemens e o servidor OPC, que os traduz em um protocolo OPC UA e, por sua vez, comunica com os clientes OPC e demais consumidores da pirâmide de automação como mostrado na Figura 6.

### 3.3 Tratamento e Disponibilização dos Dados

Arquitetura orientada a serviço (SOA do inglês *Service-Oriented Architecture*) é uma arquitetura que implementa o conceito de separação de interesses onde as capacidades de negócios ou serviços de um sistema de software estão sendo fornecidos por vários módulos ou componentes chamados serviços através de algum protocolo de comunicação e gerenciamento centralizado (MUNAF et al., 2019).

Microserviço é um pequeno aplicativo que pode ser implantado de forma independente, dimensionado de forma independente e testado de forma independente onde os serviços estão fortemente focados em fazer uma coisa e fazê-la bem (THONES, 2015) (GAMMELGAARD, 2021). Microserviços como um estilo de arquitetura é uma forma

leve de SOA, em um sistema distribuído com um número de microsserviços colaborativos (GAMMELGAARD, 2021).

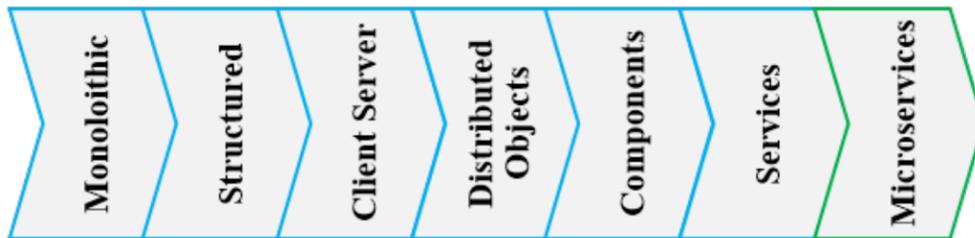


Figura 8 – Evolução da Arquitetura de Microsserviços. Fonte: (MUNAF et al., 2019)

As soluções de software passaram por vários paradigmas evoluindo da arquitetura monolítica até chegar no conceito de arquitetura de microsserviços utilizada atualmente, como mostrado na Figura 8. SOA forneceu um conceito de serviços independentes com limites claros com base no princípio da separação de interesses para melhor planejar, desenvolver, operar e manter grandes sistemas complexos, introduzindo o conceito de escalabilidade dinâmica e reutilização (MUNAF et al., 2019).

Os serviços do sistema estudado foram desenvolvidos utilizando o *Visual Studio*, que é a IDE mais usada para desenvolvimento ASP.NET, e a linguagem de programação utilizada foi o *C#*.

A comunicação com as aplicações *front-end* é feita utilizando o *SignalR* que é um *framework* que facilita a construção de aplicações web interativas, multiusuário e em tempo real, fazendo uso extensivo de técnicas de assincronia para obter imediatismo e desempenho máximo (AGUILAR, 2014).

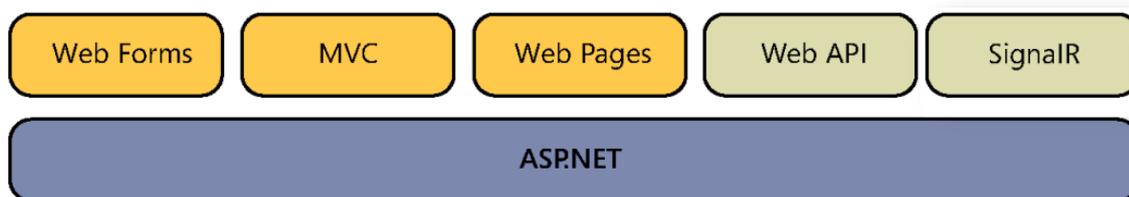


Figura 9 – Tecnologias disponíveis no ASP.NET para desenvolvimento de aplicações, páginas web e serviços. Fonte: (AGUILAR, 2014)

A Figura 9 mostra os principais *frameworks* que o ASP.NET disponibiliza para o desenvolvimento de aplicações e páginas web através de *Web Forms*, *MVC* e *Web Pages*, e para construção de serviços através de *Web API* e *SignalR*.

Com as ferramentas apresentadas foi feita a contribuição de melhoria do sistema através da implementação de uma serviço responsável por coletar e tratar e disponibi-

lizar os dados de energia proveniente dos PACs através de um aplicativo de mensagens instantâneas.

O serviço consiste em uma aplicação que consome uma API que disponibiliza os dados brutos da forma como são coletados dos PACs. Esses dados são então tratados de maneira a calcular o consumo totalizado diário e mensal e informar o custo de energia levando em consideração os valores das tarifas nos horários em que o consumo de energia elétrica é mais baixo e o quanto é consumido nos horários de maior demanda energética, onde as tarifas são mais altas.

## 3.4 Armazenamento e Visualização do Dados

A principal contribuição deste trabalho para o sistema estudado é a implementação dos supervisórios web. Eles consistem em uma ferramenta para acompanhamento remoto da planta industrial, onde é possível monitorar as principais variáveis de processo.

Os dados adquiridos são armazenados no PostgreSQL, que é amplamente considerado o sistema de banco de dados de código aberto mais avançado do mundo. Ele fornece muitos recursos que tradicionalmente são vistos apenas em produtos comerciais de nível empresarial (DRAKE; WORSLEY, 2002).

A apresentação dos dados é feita em *dashboard* utilizando os softwares Excel e *Power BI*, da Microsoft, através de consultas automatizadas ao banco de dados via ODBC (*Open Database Connectivity*). O acompanhamento das variáveis de processo e monitoramento das áreas são feitas através de supervisórios web que foram desenvolvidos utilizando o *framework javascript* Vue JS.

Vue é um *framework* voltado para o desenvolvimento de interfaces de usuário, onde sua biblioteca principal está focada apenas na camada de visualização, possuindo uma baixa complexidade facilitando sua integração com outras bibliotecas e projetos existentes (KYRIAKIDIS; MANIATIS; YOU, 2016).

Os supervisórios comunicam com os clientes OPC, que são microsserviços responsáveis pela aquisição dos dados do servidor, através do SignalR. A conexão uma vez inicializada se comunica com o Hub disponível na API do serviço que recebe a chamada do método e o nome do grupo a qual as variáveis estão inseridas, retornando um arquivo JSON contendo todos os dados de cada variável associada ao grupo, essas variáveis são então tratadas no *front-end*, onde são utilizadas em métodos que fazem a animação dos elementos visuais ou simplesmente são imprimidos os seus valores na tela.



## 4 Resultados e Discussões

Neste capítulo será apresentada a avaliação do sistema estudado, descrevendo os benefícios encontrados após a sua implementação e também serão apresentadas as soluções que foram desenvolvidas pelo autor que contribuíram para a melhoria do sistema.

### 4.1 Análise de Dados e Ações de Melhoria

Antes da implementação do sistema SCADA apresentado nesse trabalho, a gestão energética da empresa era realizada através de um supervisório que foi desenvolvido no início dos anos 2000. Esse supervisório apresentava limitações de acesso aos dados dos consumidores, o que dificultava entender o processo de maneira fidedigna. A gestão era feita apenas utilizando a demanda energética contratada de forma que o sistema desativava maiores consumidores à medida que a demanda consumida se aproximava da demanda contratada.

Após a implementação do sistema e as instalações dos PACs foi possível acompanhar de forma mais realista e em tempo real cada consumidor e o percentual que cada um representa para a demanda total da indústria, como é possível observar nas Figuras 13 e 14. Com os dados e implementação da metodologia PDCA (do inglês, *Plan, Do, Check, Act*), foram listados os 8 maiores consumidores da indústria, entre eles o sistema de refrigeração.

Uma das ações levantadas foi a otimização do sistema de refrigeração indireta da indústria. O sistema refrigera a 0°C um tanque estratificado contendo uma solução etélica, e essa energia térmica é consumida durante o horário em que a demanda é maior e por consequência a tarifa de energia elétrica cobrada pelas concessionárias é mais cara, evitando assim, ligar os compressores nesse horário.

O estudo realizado no sistema contou com o levantamento dos dados de cada ordem de produção no período de um ano com os valores médios de temperatura de envase e velocidade média da enchedora de bebidas. Dessa maneira após a análise dos dados chegou-se à conclusão de que o sistema poderia trabalhar com a temperatura em torno de 5°C sem que afetasse a cadeia de produção. Com essa ação foi estimado um ganho mensal em torno de R\$ 7.000,00 à R\$ 8.000,00 em consumo de energia, gerando um *saving* anual próximo de R\$ 100.000,00.

Foram levantadas outras ações focadas em melhorar a eficiência energética, como por exemplo, das empacotadoras que são fornos que aquecem os Filmes *Stretch* que envolvem as garrafas formando os pacotes de bebidas. Foi levantado o tempo que os fornos se

mantinham ligados em momentos que ocorriam paradas de linha. Dessa maneira, foi definido um indicador de produção, pacote produzido por KWh, para incentivar o operador responsável pela máquina na tomada de decisão, onde esses são bonificados quando ficam dentro da meta de produção mensal. O desempenho do indicador, desde sua criação até o mês atual é mostrado na Figura 12.

Com essas medidas implementadas é possível observar na Figura 10 uma melhora no indicador de energia global da empresa nos últimos 2 anos, que coincide com o período de implementação do sistema avaliado. A Figura 11 mostra como a gestão energética atual está em comparação ao ano de 2021, e é possível perceber a melhora do sistema em comparação ao ano anterior.

## 4.2 Avaliação das Melhorias ao Sistema SCADA

A partir do sistema previamente implementado foram desenvolvidas novas formas de apresentação dos dados e substituição de alguns dos supervisórios antigos devido a necessidade de acompanhamento de novas variáveis de processo e acompanhamento por parte de outros setores além da engenharia, democratizando o acesso à informação e beneficiando toda cadeia logística na tomada de decisões.

O projeto SCADA implementado foi feito pensando em melhorias futuras, onde foi desenvolvido um painel que permite cadastrar todas as variáveis de processo disponibilizadas pelos CLPs e agrupá-las em painéis que são exportados em arquivo JSON via API para serem utilizados em outras aplicações, o painel é mostrado nas Figuras 18 e 19.

O sistema auxilia na qualidade de trabalho dos técnicos e operadores, pois não precisam se deslocar até o chão de fábrica para acompanhamento de variáveis críticas do processo, os operadores não precisam estar presente em ambiente insalubres e altamente ruidosos, além de ajudar a equipe de instrumentação na detecção de falhas de sensores e teste de malha.

Todos os dados disponibilizados nos supervisórios tem sua veracidade atestada primeiramente pelo sistema de calibração de todos os sensores da indústria que é realizado de forma periódica e gerado um certificado para cada sensor calibrado. Uma vez que o sensor possui um certificado válido, seus valores são lidos pelo CLPs e comparado com os que estão sendo mostrados no supervisórios de forma a garantir que os valores estão condizentes.

Também é feito os testes de malha para a validação de que o sistema está realizando a leitura correta dos sensores. Como exemplo podemos citar os sensores de temperatura do sistema de refrigeração (Figura 15), esses sensores enviam um sinal analógico de 4 mA à 20 mA que são digitalizados pelos cartões de entrada do CLP e escalonados na

faixa de 0°C a 100°C, desta forma é utilizado um equipamento que emula o sinal de 4 mA à 20 mA na malha do sistema podendo ser verificado se a leitura realizada está de acordo com o esperado. O acompanhamento é realizado em tempo real através do próprio supervisório de maneira remota através qualquer dispositivo que tenha acesso a internet e esteja conectado à rede local.

A primeira proposta implementada como validação foi realizada no sistema de refrigeração da solução etílica que conta com supervisórios do tanque de refrigeração, mostrado na Figura 15, o sistema de refrigeração mostrado na Figura 16 e o supervisório de acompanhamento dos compressores mostrado na Figura 17.

Essa primeira proposta apresentou ganhos com relação ao sistema anterior pois não possui limitação no número de usuários que podem acessar o supervisório, de modo que beneficiou os operadores dos compressores que não precisam mais estarem frequentemente próximos aos compressores, que estão em um ambiente insalubre com alto grau de ruído.

O sistema também permite maior versatilidade na adição de novas variáveis para acompanhamento e por se tratar de uma aplicação web é possível acessar de qualquer dispositivo que esteja validado na rede industrial o que permite ao instrumentista da indústria facilidade quando é feito o teste de malha durante a falha de algum sensor pois é possível observar a variação instantânea de acordo com o valor do sinal enviado.

Outros dois supervisórios foram desenvolvidos a pedido do laboratório de asseguuração da qualidade, permitindo aos técnicos acompanhar os parâmetros de qualidade da lavadora de garrafas da linha de retornáveis, como mostrado na Figura 21, sem a necessidade de se deslocarem até a linha em questão. O segundo supervisório mostrado na Figura 20 trás informações dos *blanders* que são enviados para cada linha, evitando erros durante o envase onde se torna possível acompanhar se o parâmetro de brix está dentro do estipulado.

Foram também desenvolvidos serviços para acompanhamento via aplicativos de mensagens instantâneas. Essa demanda foi desenvolvida para auxiliar a gerencia da indústria a acompanhar a operação em tempo real de forma remota, facilitando a tomada de decisão mesmo quando não estão presentes na indústria. O visual do serviço de mensagens instantâneas é apresentado nas Figuras 22, 23, 24 e 25.

Foram também desenvolvidos sistemas de alertas sonoros para informar as áreas responsáveis sobre a falta de abastecimento de tampas nas linhas de envase e quando ocorrer vazamento de água devido a transbordamento no floculador e caixas d'água. Essas medias permitiram mitigar o desperdício de água e paradas de linha na indústria, o sistema é mostrado na Figura 26.

### 4.3 Acompanhamento Excel

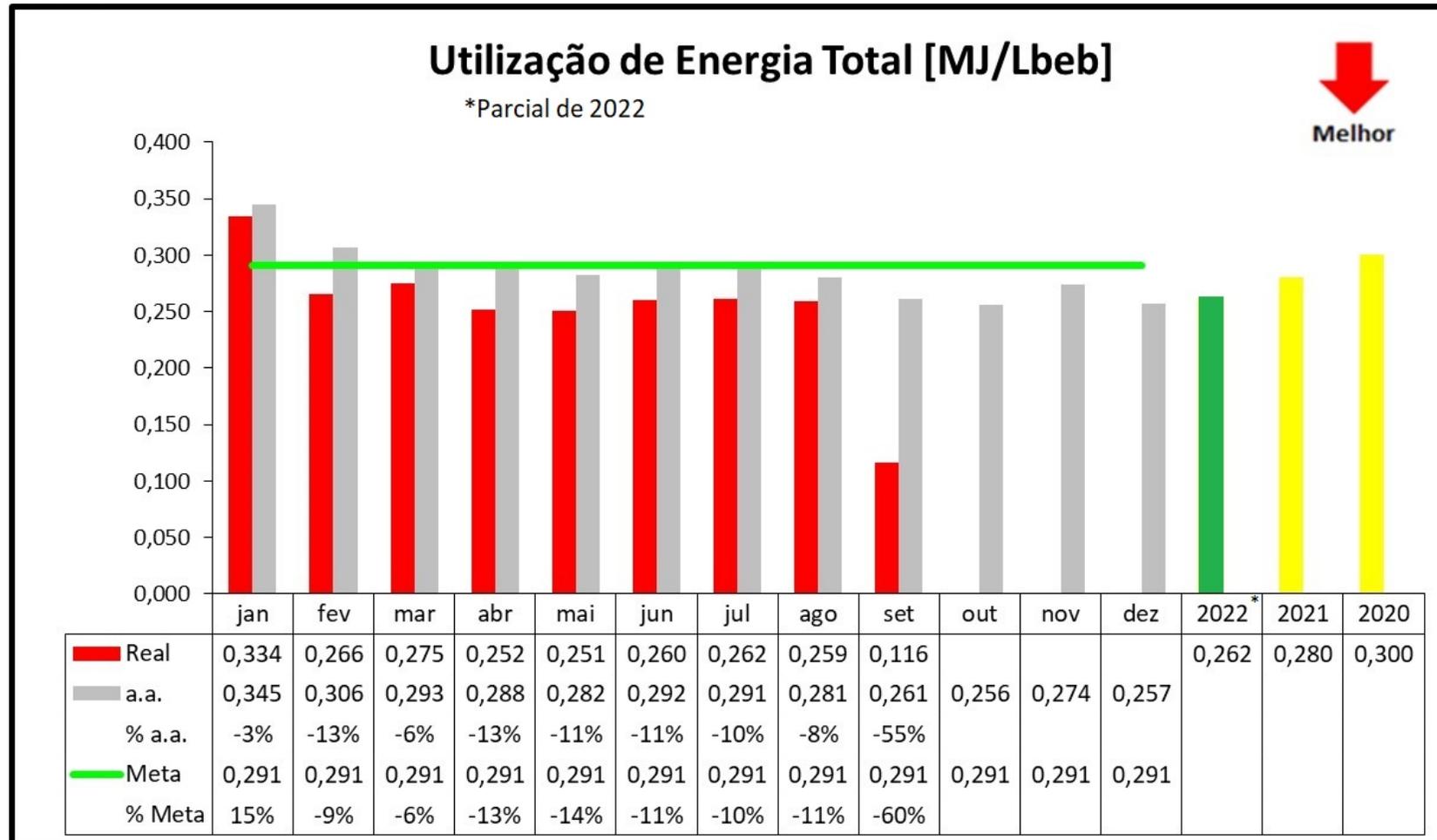


Figura 10 – Gráfico de acompanhamento do indicador de energia por litro de bebida produzido. Fonte: Autor

	Mje / Lbeb	Mje / Grf	Mje / Lbeb	kWh / m <sup>3</sup>	Mj / Lbeb
	Consumo de energia elétrica em MJ retirando o sopro (Sub C) dividido pela produção de bebida em litros	Consumo de energia elétrica em MJ somente do sopro (Sub C) dividido pela produção de garrafas	Consumo de energia elétrica em MJ de toda a fábrica dividido pela produção de bebida em litros	Consumo de energia elétrica em KWh de toda a fábrica dividido pela produção de bebida em m <sup>3</sup>	Consumo de energia elétrica e térmica em MJ de toda a fábrica dividido pela produção de bebida em litros.
	 / 	 / 	 / 	 / 	 +  / 
META	0,11	0,14	0,19	48	0,291
Agosto	0,097	0,129	0,158	43,99	0,259
2022	0,112	0,133	0,171	48,53	0,262
2021	0,11	0,15	0,18	51	0,280

Figura 11 – Indicadores de acompanhamento calculado a partir dos dados de consumo e produção. Fonte: Autor

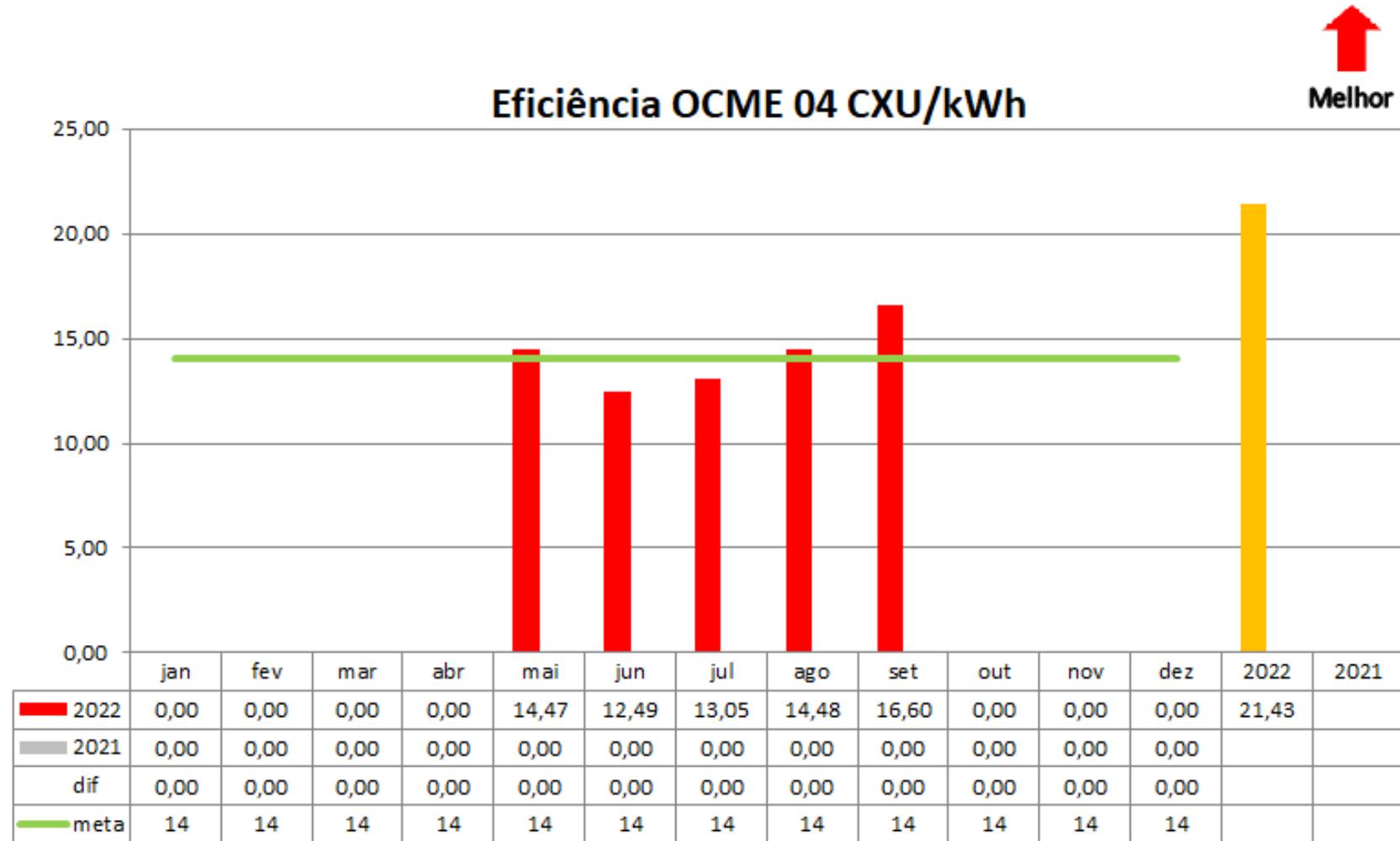


Figura 12 – Gráfico de acompanhamento do indicador pacote produzido por kWh para empacotadora da linha 4. Fonte: Autor

JULHO / 2022

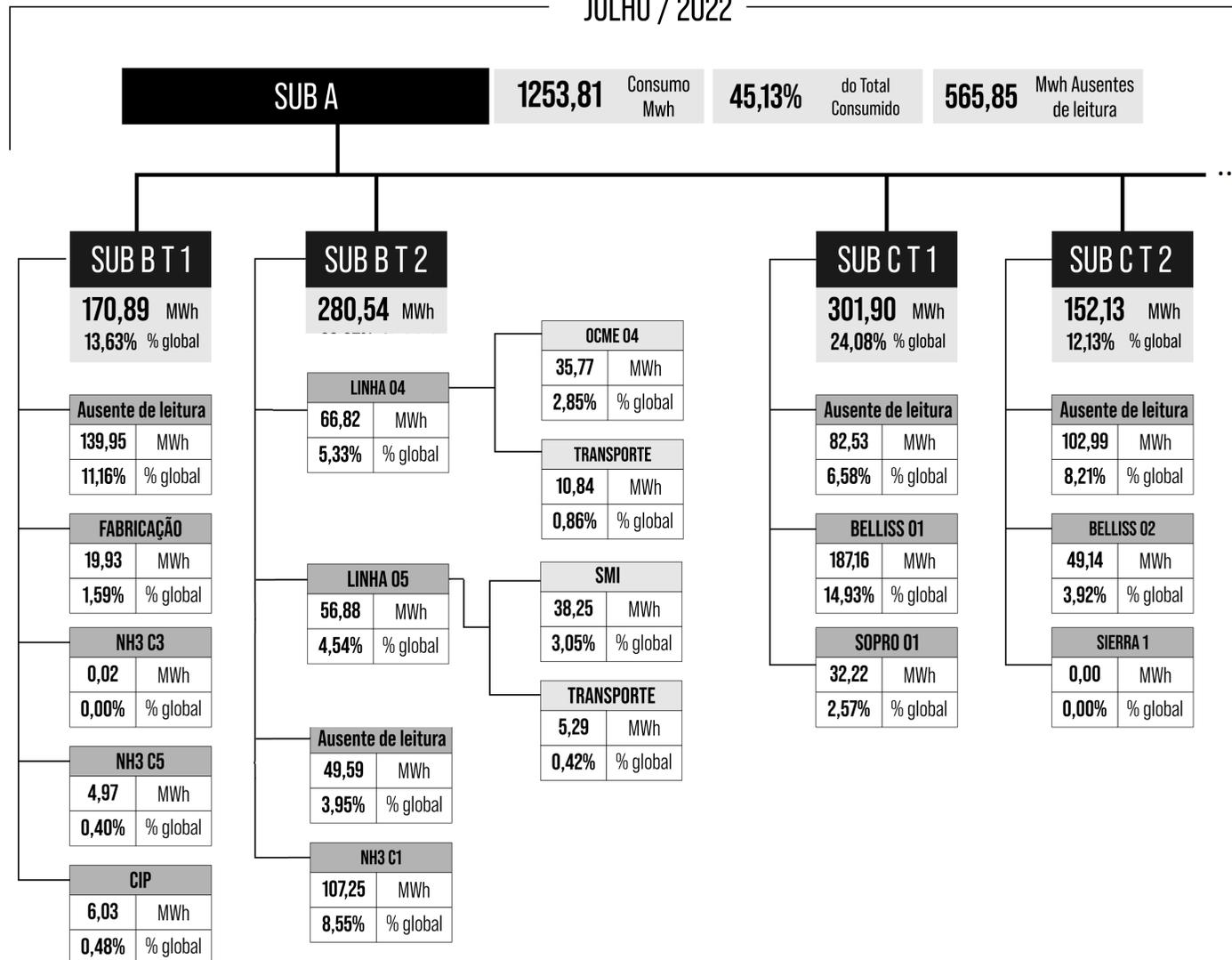


Figura 13 – Acompanhamento de Consumidores através das informações obtidas pelos PAC's 3200 (a). Fonte: Autor

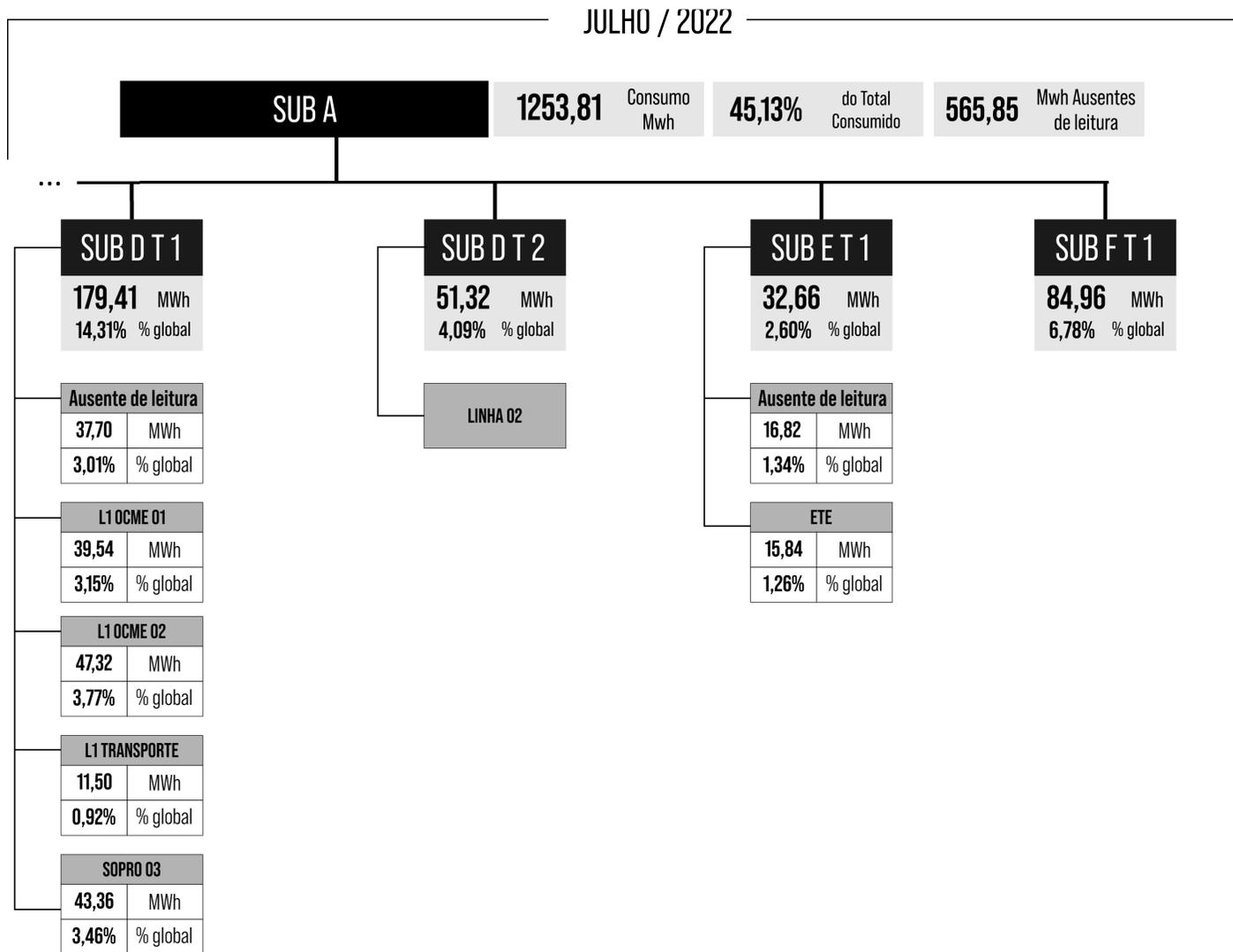


Figura 14 – Acompanhamento de Consumidores através das informações obtidas pelos PAC's 3200 (b). Fonte: Autor

## 4.4 Supervisórios

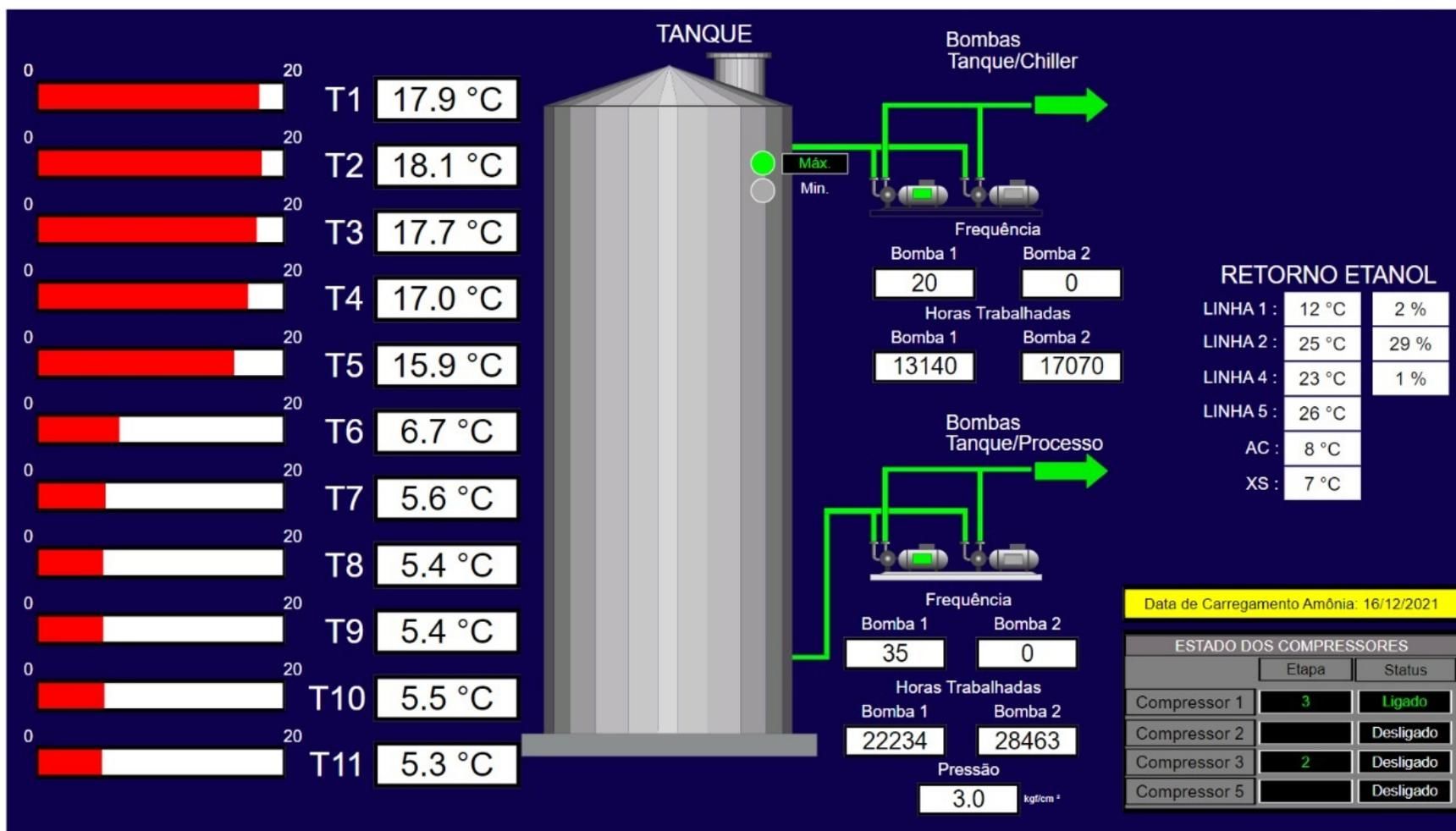


Figura 15 – Supervisório de acompanhamento do tanque de solução etílica para troca indireta de calor. Fonte: Autor

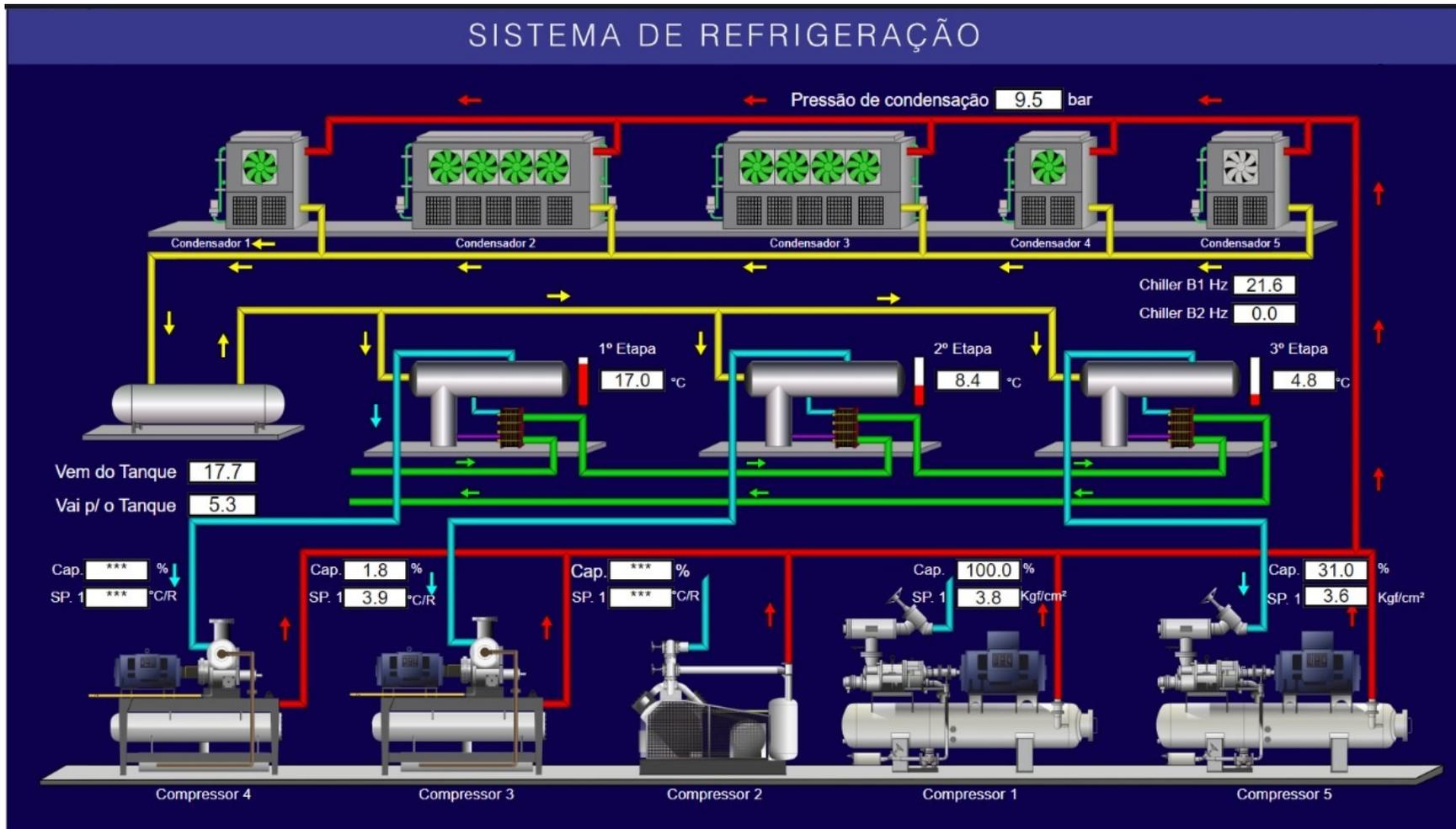


Figura 16 – Supervisório para acompanhamento do sistema de refrigeração. Fonte: Autor

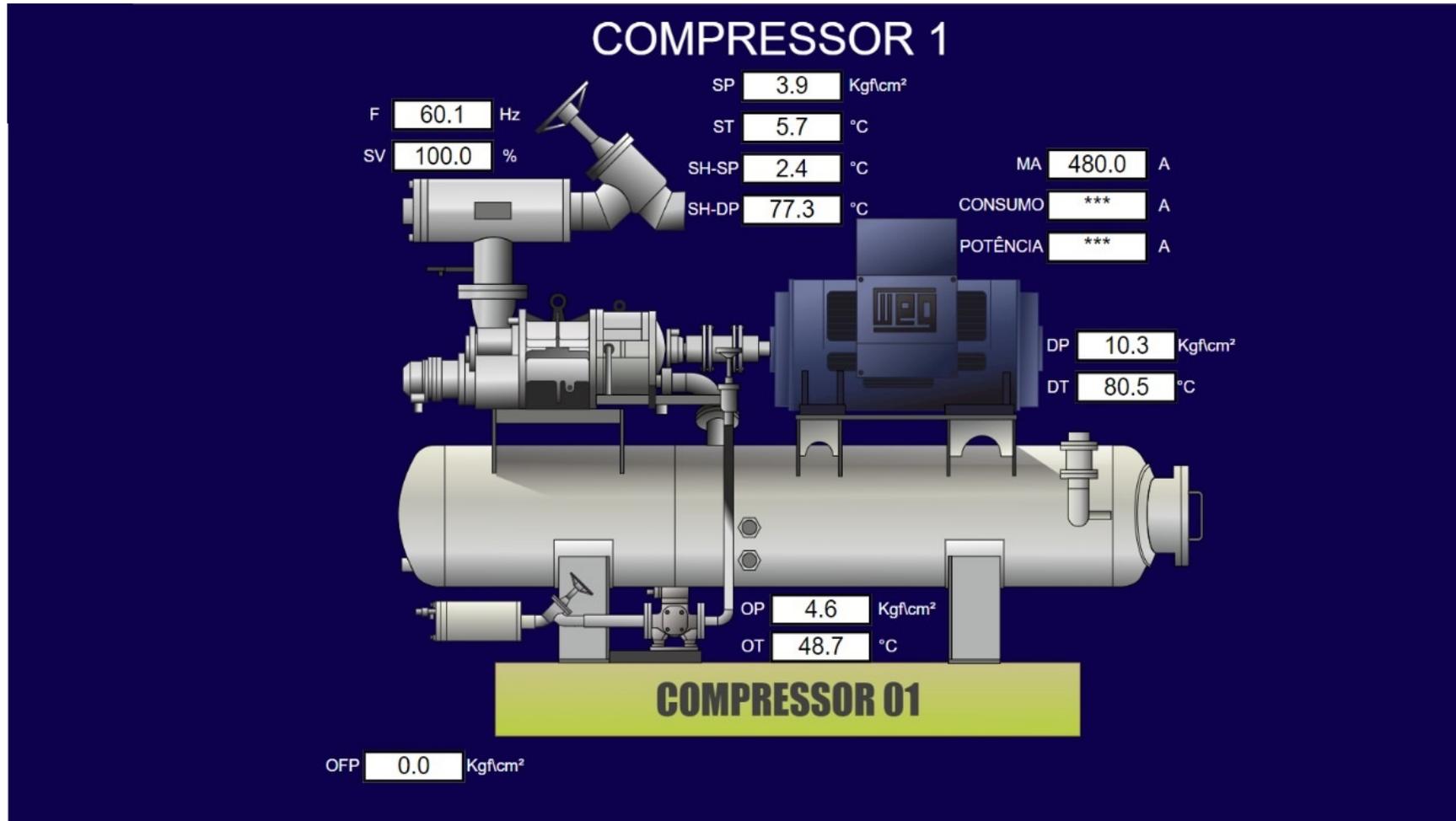


Figura 17 – Supervisório para acompanhamento das variáveis operacionais do compressor de amônia 1. Fonte: Autor

## GERENCIAMENTO DE PAINÉIS

+ PAINEL

Painel	Descrição	Tags	
ETA	Estação de Tratamento de Água	111	+ ✎ 🗑
PAC3200	Medidores de Energia PAC3200	357	+ ✎ 🗑
PRODUCAO	Supervisório de Acompanhamento da Produção	1	+ ✎ 🗑
REFRIGERACAO	Sistema de Refrigeração de Processo	99	+ ✎ 🗑
L2_LAVADORA	Linha 2 - Lavadora de Garrafas	11	+ ✎ 🗑
BEBIDA_FINAL	Fabricação - Envio de Bebida Final	37	+ ✎ 🗑
ETE	Estação de Tratamento de Efluente	1	+ ✎ 🗑
CARBONATADORES	Carbonatadores das Linhas de Produção	22	+ ✎ 🗑
SENSOR_AMONIA	Sensores de Amônia da Casa de Máquinas	3	+ ✎ 🗑
INFOTV	Informativo de Produção	0	+ ✎ 🗑

Linhas por página: 10 ▼ 1-10 of 13 |< < > >|

Figura 18 – Pannel para criação de grupos de variáveis de processo divididos por áreas de desenvolvimento. Fonte: Autor

## GERENCIAMENTO DE TAGS

Pesquisar



+ TAG

Tag	Descrição	OPC Node	Casas	Atual	
VAZAO_POCO_1	Vazão de Captação do Poço 1	ETA.DB3.12,R	1	16.6	
VAZAO_POCO_2	Vazão de Captação do Poço 2	ETA.DB3.0,R	1	18.1	
PAC_L1_OCME_1_0H_DIA_ANT_FP	PAC3200 Linha 1 OCME 1 - Energia Ativa Dia Anterior 0h Fora Ponta [Wh]	@LOCALSERVER.DB10.1984,R	0	4326186	
PAC_L1_OCME_1_0H_DIA_P	PAC3200 Linha 1 OCME 1 - Energia Ativa Dia Atual 0h Ponta [Wh]	@LOCALSERVER.DB10.1988,R	0	0	
PAC_L1_OCME_1_0H_DIA_ANT_P	PAC3200 Linha 1 OCME 1 - Energia Ativa Dia Anterior 0h Ponta [Wh]	@LOCALSERVER.DB10.1992,R	0	597748	
PAC_L1_OCME_2_POT_REATIVA	PAC3200 Linha 1 OCME 2 - Potência Reativa [kVar]	@LOCALSERVER.DB10.2040,R	1	1.5	
PAC_L1_OCME_2_FATOR_POTENCIA	PAC3200 Linha 1 OCME 2 - Fator de Potência	@LOCALSERVER.DB10.2044,R	2	1	
PAC_L1_OCME_2_ASSIMETRIA_V	PAC3200 Linha 1 OCME 2 - Assimetria de Tensão [%]	@LOCALSERVER.DB10.2048,R	1	0.1	
PAC_L1_OCME_2_ASSIMETRIA_I	PAC3200 Linha 1 OCME 2 - Assimetria de Corrente [%]	@LOCALSERVER.DB10.2052,R	1	0.1	

Figura 19 – Painel para cadastro TAGS e acompanhamento das variáveis de processo. Fonte: Autor

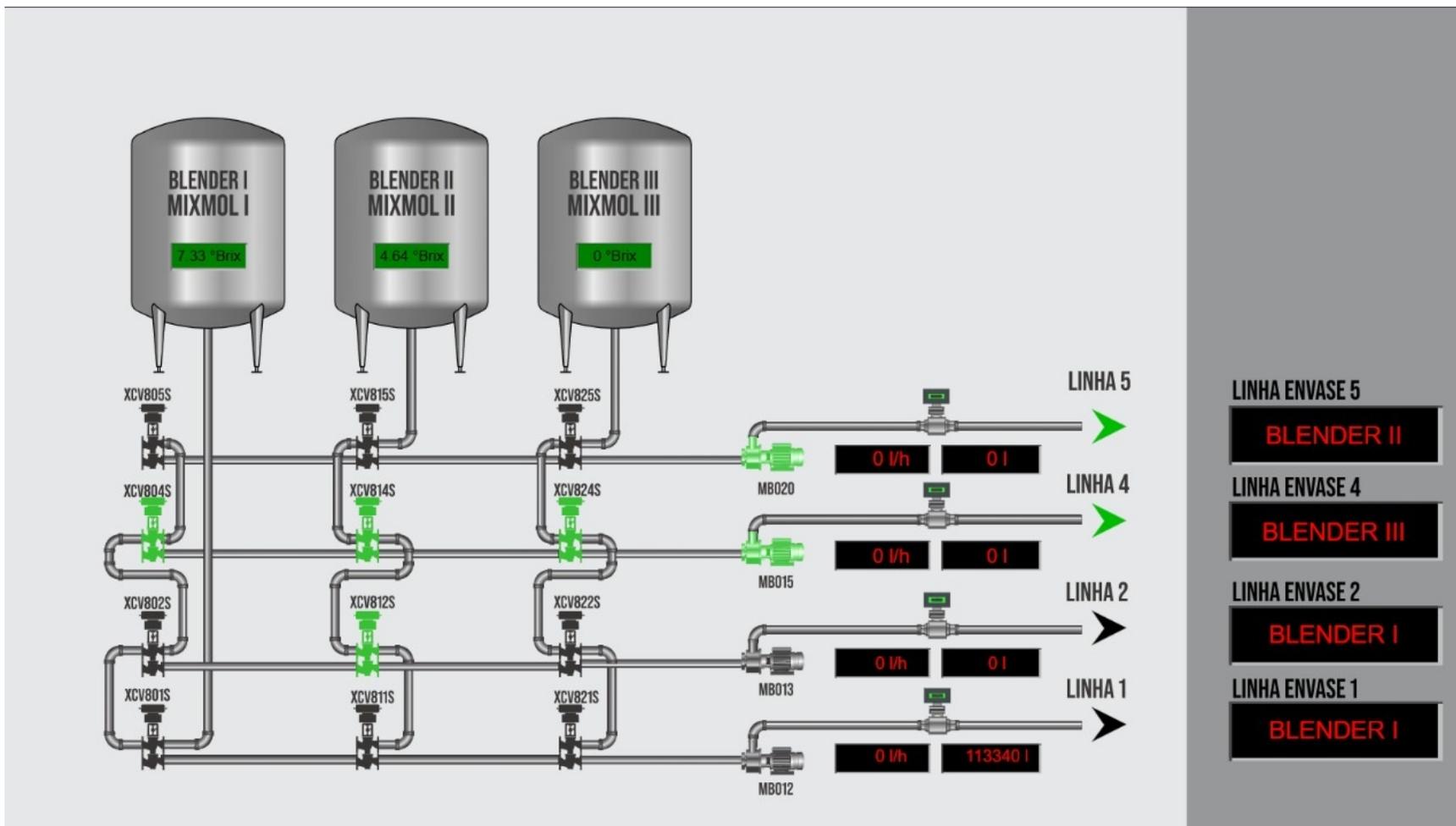


Figura 20 – Painel de acompanhamento dos *blenders* de bebidas e linhas de envase correspondente. Fonte: Autor

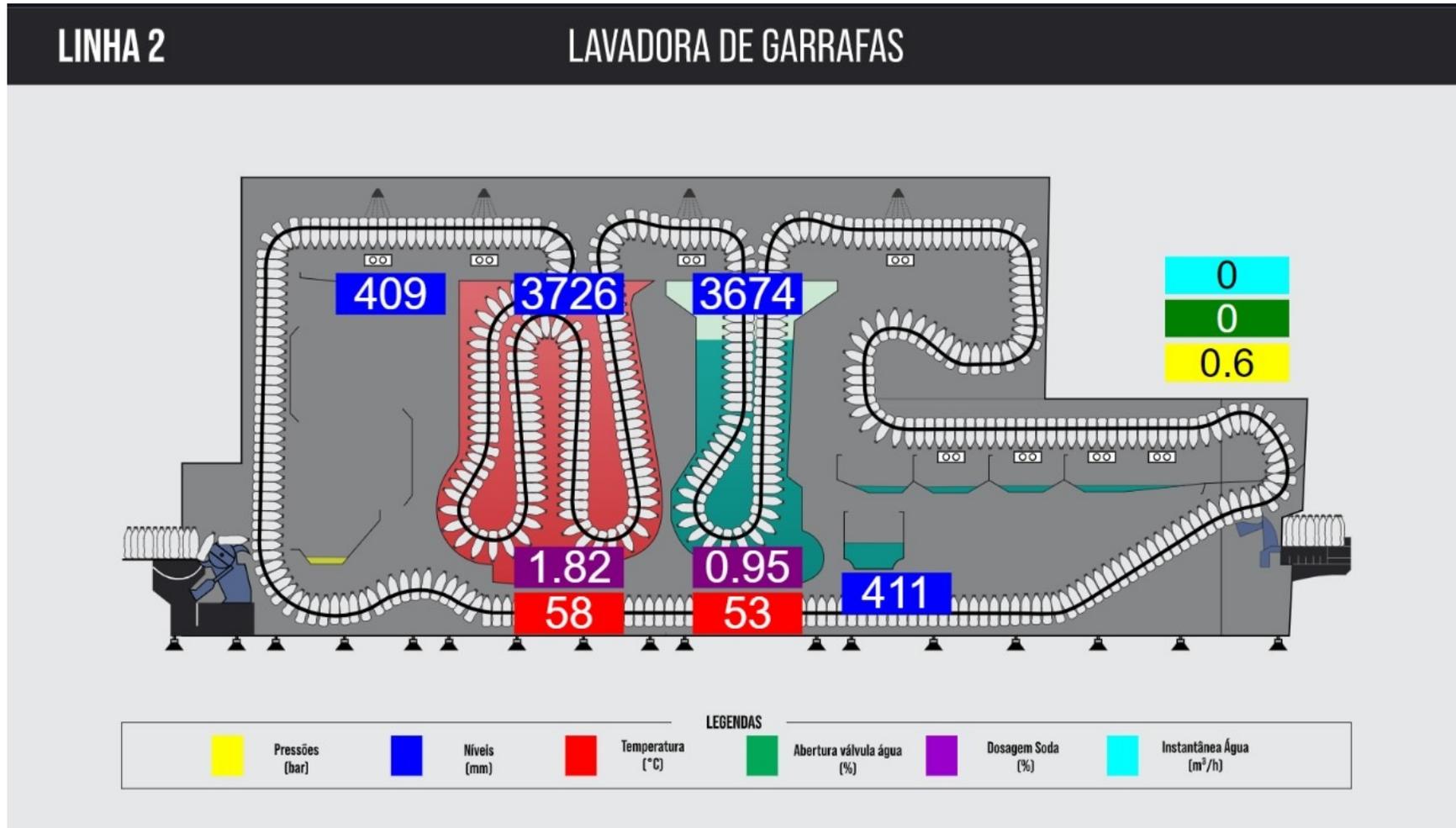


Figura 21 – Painel de acompanhamento dos parâmetros operacionais da lavadora de garrafas retornáveis. Fonte: Autor

## 4.5 Acompanhamento por Aplicativos de Mensagens Instantâneas

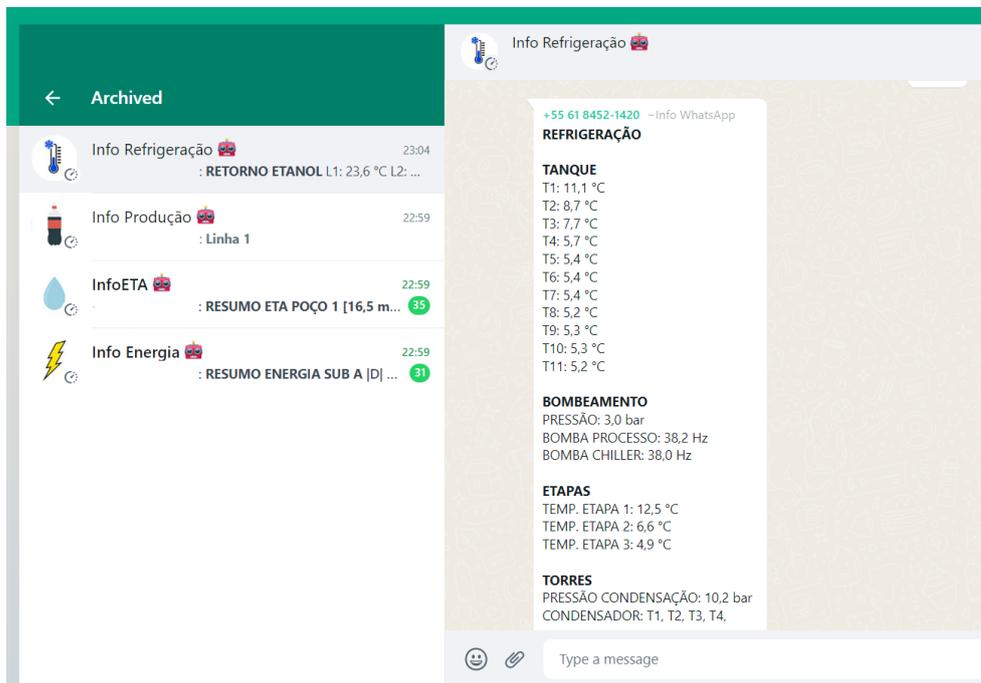


Figura 22 – Grupo de acompanhamento das variáveis do sistema de refrigeração. Fonte: Autor

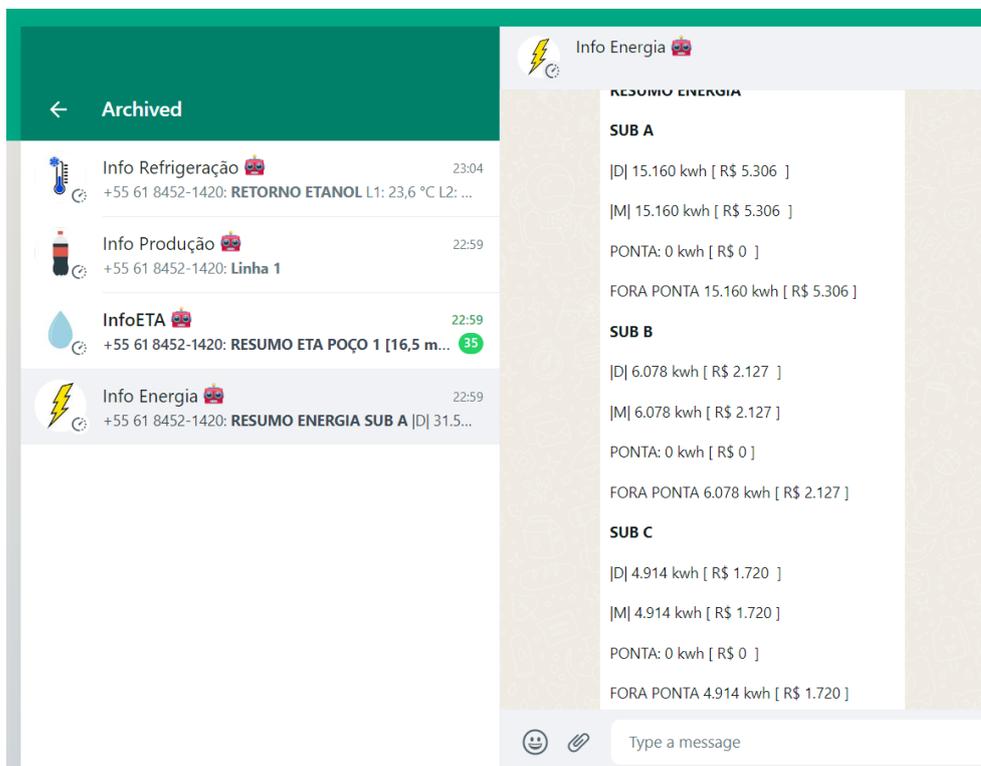


Figura 23 – Grupo de acompanhamento consumo de energia por Subestação. Fonte: Autor

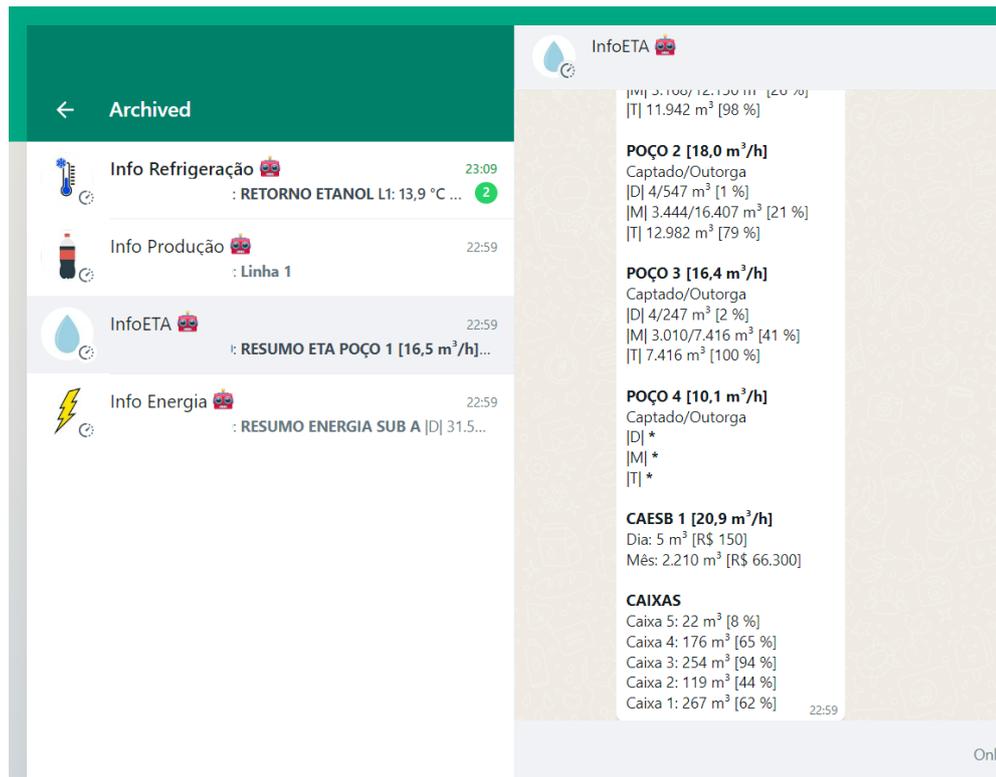


Figura 24 – Grupo de acompanhamento da captação e abastecimento de água. Fonte: Autor

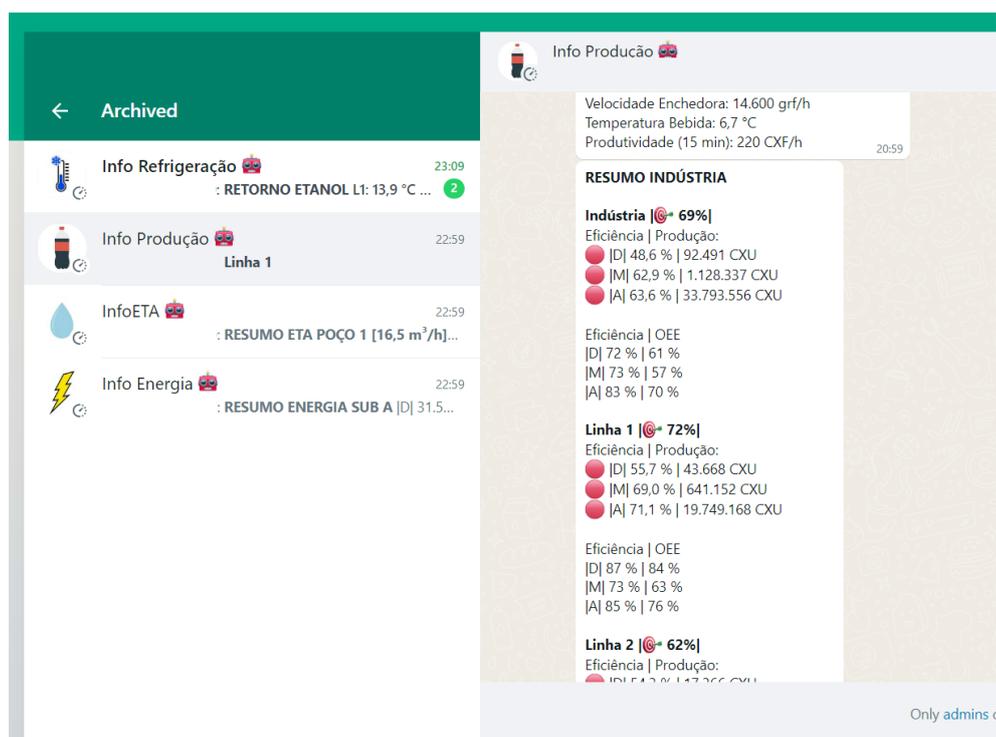


Figura 25 – Grupo de acompanhamento das linhas de produção. Fonte: Autor

## 4.6 Alertas

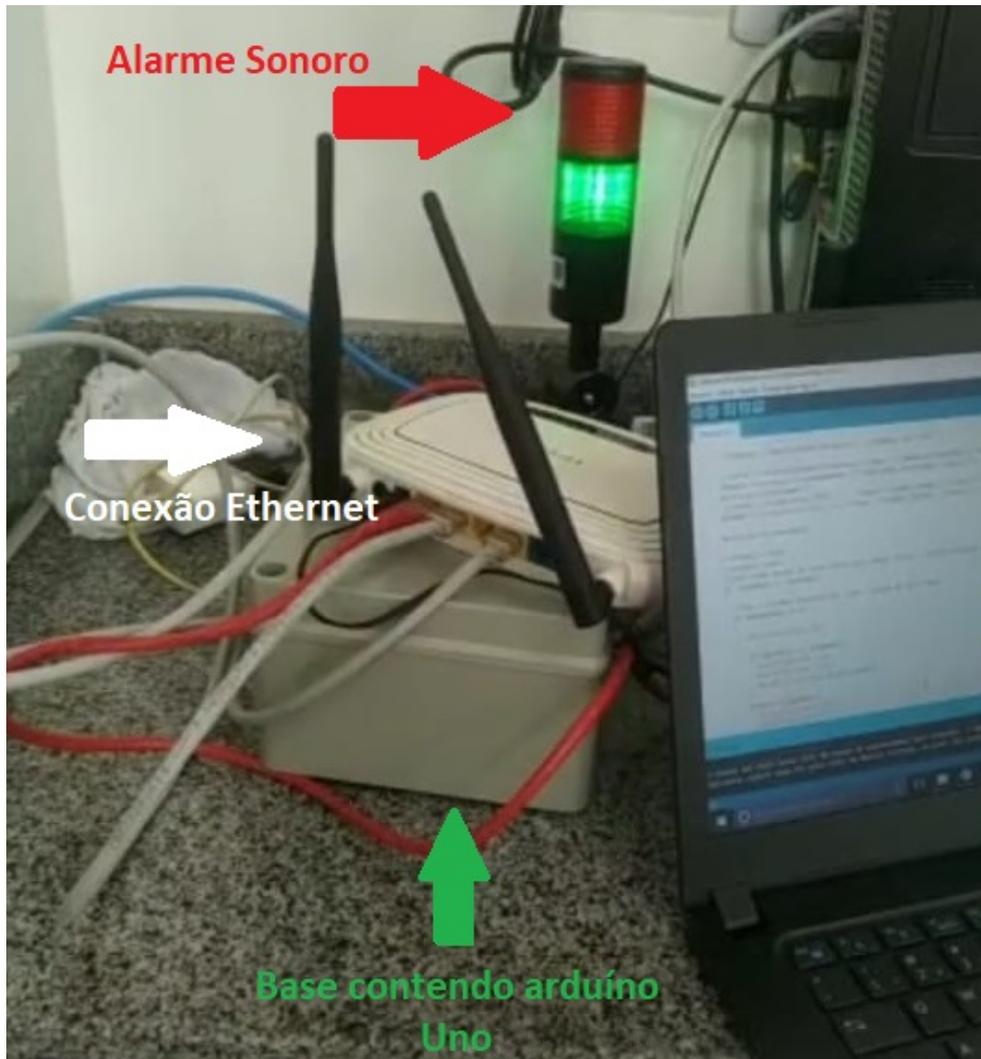


Figura 26 – Alerta sonoro acionado sempre que ocorre vazamento pelo ladrão do floculador da ETA. Fonte: Autor

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou um estudo da implementação de um sistema de aquisição e supervisão industrial, SCADA, utilizando o sistema proprietário da Siemens SIMATIC NET OPC Server que utiliza o protocolo de comunicação industrial de arquitetura aberta, OPC UA, serviços de aquisição e armazenamento dos dados através de aplicações que desempenham o papel de cliente OPC desenvolvidos em ASP.NET além soluções de supervisórios e alertas que auxiliam na tomada de decisões.

Foi também traçado uma linha histórica da evolução industrial até o presente momento trazendo as algumas das principais tecnologias habilitadoras para a indústria 4.0. De acordo com os resultados apresentados é notável que as soluções desenvolvidas estão alinhadas com os novos paradigmas da revolução digital.

Uma das propostas desse trabalho era realizar uma avaliação dos impactos gerados a partir da implementação dos sistemas SCADA estudado, onde foi possível notar através dos resultados apresentados que os dados levantados a partir dos sistemas trouxeram grande valor, principalmente nos indicadores de energia que apresentam uma melhora consistente nos últimos 2 anos, mesmo com todas as adversidades decorrentes da pandemia.

Os resultados apresentados mostram que a utilização do protocolo OPC UA habilita a migração de sistemas legado para a transformação digital. Abrindo possibilidades para o desenvolvimento de várias outras soluções como análises preditivas com o grande volume de dados coletados, de forma que uma análise sem os recursos de *machine learning* e inteligência artificial já apresenta ganho financeiro significativo.

Outro Objetivo deste trabalho era apresentar os sistemas supervisórios e alertas desenvolvidos, onde os resultados obtidos através da sua implementação trouxeram vários benefícios dentro do ambiente de trabalho diminuindo tempo de atuação dos técnicos da asseguaração da qualidade no monitoramento dos sistemas de lavagem de garrafas retornáveis, bem como auxílio aos instrumentistas na realização de teste de malhas dos sensores instalados, além de reduzir a exposição dos operadores da casa de máquinas a um ambiente insalubre devido a possibilidade de acompanhamento remoto dos sistema de compressores.

Além disso, as informações via aplicativos de mensagens instantâneas permitem acesso aos dados em tempo real e possibilitam tomadas rápidas de decisão evitando paradas de linha e desta forma melhorando o desempenho da produção. É possível, portanto, observar como a camada de supervisão pode potencialmente se beneficiar das tecnologias da internet, como serviços Web e até mesmo protocolos específicos de IoT recentes, que

em interação com os níveis de controle e campo por meio da comunicação OPC UA podem aumentar significativamente o desempenho geral do sistema.

Vale a ressalva que da mesma forma que a utilização do servidor OPC facilita o acesso aos dados de maneira mais rápida e dinâmica, ela também concentra toda a comunicação da indústria o que exige uma rede industrial totalmente alinhada com as melhores práticas de cibersegurança para evitar que seja passível de ataques maliciosos e gerem problemas no futuro.

Também fica como sugestão para trabalhos futuros o desenvolvimento de sistemas SCADA de baixo custo utilizando um servidor OPC em sistemas embarcados. A tecnologia é de código aberto e têm capacidade de gerenciar uma ampla gama de protocolos de comunicação, com isso a camada de supervisão pode potencialmente beneficiar tecnologias da Internet, como serviços web ou protocolos específicos de IoT recentes, que em interação com os níveis de controle e campo por meio da comunicação OPC UA aumentarão significativamente o desempenho geral dos sistemas gerando um ferramenta acessível para as empresas de pequeno e médio porte.

# Referências

- ADDOWEESH, I. K. *INTEGRATED AUTOMATION SYSTEM CASE STUDY*. 74 p. Monografia — King Saud University College Of Engineering, Riyadh, Saudi Arabia, 2005. Citado na página [36](#).
- AGUILAR, J. M. *SignalR Programming in Microsoft ASP.NET*. [S.l.]: Microsoft Press, 2014. ISBN 9780735683884; 0735683883. Citado na página [42](#).
- AHMAD, S. et al. Internet-of-things-enabled serious games: A comprehensive survey. *Future Generation Computer Systems*, v. 136, p. 67–83, 2022. Citado na página [33](#).
- AL-MASHARI, M.; AL-MUDIMIGH, A.; ZAIRI, M. Enterprise resource planning: A taxonomy of critical factors. *European Journal of Operational Research*, v. 146, n. 2, p. 352–364, 2003. ISSN 0377-2217. Citado na página [29](#).
- AZEVEDO, M. T. d. *Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017. Citado 4 vezes nas páginas [23](#), [27](#), [33](#) e [34](#).
- BERGER, H. *Automating with STEP 7 in STL and SCL: SIMATIC S7-300/400 Programmable Controllers*. 6. ed. [S.l.]: Publicis, 2012. ISBN 3895784125; 9783895784125. Citado na página [37](#).
- BOYER, S. A. *Supervisory control and data acquisition*. [S.l.]: Isa, 1999. Citado na página [28](#).
- BUYYA, R. et al. A manifesto for future generation cloud computing: Research directions for the next decade. *ACM computing surveys (CSUR)*, ACM New York, NY, USA, v. 51, n. 5, p. 1–38, 2018. Citado na página [34](#).
- CASSIOLATO, C. Redes industriais – parte 1. *Revista Saber Eletrônica*, n. 461, p. 24–32, 2012. Citado 3 vezes nas páginas [29](#), [30](#) e [31](#).
- COELHO, P. M. N. *Rumo à indústria 4.0*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016. Citado 2 vezes nas páginas [27](#) e [34](#).
- COLLIN, J. et al. It leadership in transition-the impact of digitalization on finnish organizations. Aalto University, 2015. Citado na página [27](#).
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Sondagem Especial 66: Indústria 4.0*. Brasília - DF, 2016. Citado 2 vezes nas páginas [21](#) e [22](#).
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Sondagem Especial 83: Indústria 4.0 cinco anos depois*. Brasília - DF, 2022. Citado 4 vezes nas páginas [21](#), [22](#), [23](#) e [24](#).
- DRAKE, J. D.; WORSLEY, J. C. *Practical PostgreSQL*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2002. Citado na página [43](#).

- ENDI, M.; ELHALWAGY, Y. et al. Three-layer plc/scada system architecture in process automation and data monitoring. In: IEEE. *2010 the 2nd international conference on computer and automation engineering (ICCAE)*. [S.l.], 2010. v. 2, p. 774–779. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 39.
- FARIA, T. L. d. et al. Desenvolvimento de um material didático para controle de processos utilizando o clp s-7 300 da siemens. Universidade Federal de Campina Grande, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- FILHO, C. S. Arquiteturas de sistemas de automação-uma introdução. *Revista Saber Eletrônica*, 2002. Citado na página 30.
- GAMMELGAARD, C. H. *Microservices in .NET, Second Edition*. 2. ed. [S.l.]: Manning, 2021. ISBN 1617297925; 9781617297922. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.
- GOKALP, M. O. et al. Big data for industry 4.0: A conceptual framework. In: *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 431–434. Citado na página 33.
- HADDADPAJOUH, H. et al. A survey on internet of things security: Requirements, challenges, and solutions. *Internet of Things*, v. 14, p. 100129, 2021. Citado na página 33.
- JAMALUDIN, J.; ROHANI, J. M. Cyber-physical system (cps): State of the art. In: *2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5. Citado na página 34.
- KHAN, S. *Leadership in the digital age: A study on the effects of digitalisation on top management leadership*. 2016. Citado na página 27.
- KNAPP, E. D.; LANGILL, J. *Industrial Network Security: Securing critical infrastructure networks for smart grid, SCADA, and other Industrial Control Systems*. [S.l.]: Syngress, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.
- KRUTZ, R. L. *Securing SCADA systems*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005. Citado na página 28.
- KYRIAKIDIS, A.; MANIATIS, K.; YOU, E. *The majesty of Vue. js*. [S.l.]: Packt Publishing, 2016. Citado na página 43.
- LEE, J.; KAO, H.-A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, v. 16, p. 3–8, 2014. Citado na página 33.
- LIN, Z.; PEARSON, S. et al. An inside look at industrial ethernet communication protocols. *Texas Instruments, White Paper*, 2018. Citado na página 32.
- LIU, Y. et al. Review on cyber-physical systems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, v. 4, n. 1, p. 27–40, 2017. Citado na página 34.
- MERCHÁN, D. F. et al. Open source scada system for advanced monitoring of industrial processes. In: *2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 160–165. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 39.

MESA INTERNATIONAL. *MESA International - White Paper 6: Mes explained: A high level vision*. Pittsburgh, PA USA, 1997. Citado na página 29.

MUNAF, R. M. et al. Microservices architecture: Challenges and proposed conceptual design. In: IEEE. *2019 International Conference on Communication Technologies (ComTech)*. [S.l.], 2019. p. 82–87. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.

NICOLA, M. et al. Scada systems architecture based on opc and web servers and integration of applications for industrial process control. *International Journal of Control Science and Engineering*, v. 8, n. 1, p. 13–21, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 39.

OLIANI, L. G. N. et al. Tecnologias digitais e industria 4.0: Um novo desafio para a industria brasileira. *Índice de Anais do V SimPEAd*, p. 283, 2020. Citado na página 23.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer, v. 31, n. 1, p. 127–182, 2020. Citado na página 33.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. *Plattform Industrie 4.0: Digital transformation “made in germany”*. Berlin, ALEMANHA, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

SCHWAB, K. *The Fourth Industrial Revolution*. [S.l.]: The Fourth Industrial Revolution, 2016. ISBN 1944835008; 9781944835002. Citado na página 27.

SIEMENS AG AUTOMATION AND DRIVES. *Multimedidor SENTRON PAC3200* : Manual do aparelho. NÜRNBERG, ALEMANHA, 2008. Citado na página 37.

SIEMENS INDUSTRY, INC. *PAC3200 Power Meter Brochure: Sentron pac3200*. Norcross, GA USA, 2011. Citado na página 38.

SIEMENS INDUSTRY, INC. *SIMATIC NET: Pc software industrial communication with pg/pc volume 1 - basics*. NÜRNBERG, ALEMANHA, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

TEIXEIRA, A. F. S.; VISOTO, N. A. R.; PAULISTA, P. H. Automação industrial: Seus desafios e perspectivas. *Revista Científic@ Universitas*, v. 3, n. 2, 2016. Citado na página 27.

THONES, J. Microservices. *IEEE Software*, v. 32, n. 1, p. 116–116, 2015. Citado na página 41.

VOORSLUYS, W.; BROBERG, J.; BUYYA, R. Introduction to cloud computing. In: *Cloud Computing: Principles and Paradigms*. [S.l.]: Wiley Press, 2011. p. 1–44. Citado na página 34.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Fórum Econômico Mundial.: An action plan to solve the industry’s talent gap*. Geneva - Suíça, 2018. Citado na página 21.

YOUNUS, M. et al. Mes development and significant applications in manufacturing-a review. In: IEEE. *2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer*. [S.l.], 2010. v. 5, p. V5–97. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

ZEZULKA, F. et al. The ideas of industry 4.0: Seven years after. *IFAC-PapersOnLine*, v. 55, n. 4, p. 145–150, 2022. ISSN 2405-8963. 17th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES 2022 — Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 17-19 May 2022. Citado na página [39](#).

\*\*

# Apêndices



# APÊNDICE A – Código Fonte: Supervisório Web

O código fonte com um exemplo de um dos supervisórios implementado está disponibilizado no link: <[https://github.com/AlexandresSouza/TCC\\_2\\_Supervisorio.git](https://github.com/AlexandresSouza/TCC_2_Supervisorio.git)>

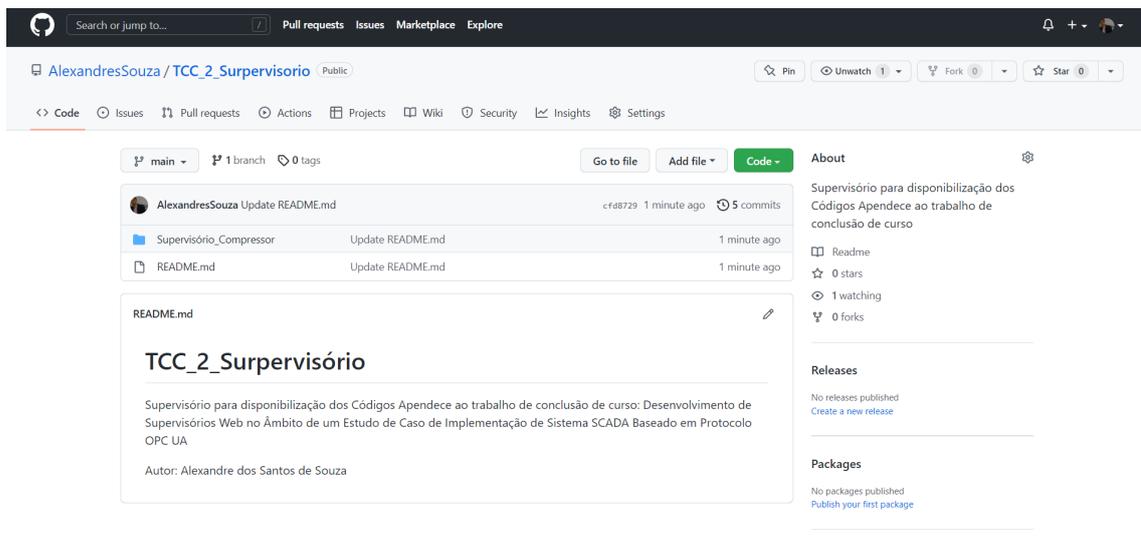


Figura 27 – Repositório do Código Fonte do Supervisório do Compressor de Amônia.