

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA / ENGENHARIA ELÉTRICA
Trabalho Final de Curso II

Gabriel Sales Mendes da Silva

**Digitalização na Indústria 4.0:
Análise de Digitalização de Fábricas, Implementação de
Sistemas de Monitoramento, Coleta de Dados e
Automação.**

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Carlos Alberto Vasconcelos Bezerra - Orientador. PUC Goiás
Prof. Me. Carlos Daniel de Sousa Bezerra – IFG
Prof. Me. Luís Fernando Pagotti – PUC Goiás

Goiânia, 14 de dezembro de 2023

Digitalização na Indústria 4.0: Análise de Digitalização de Fábricas, Implementação de Sistemas de Monitoramento, Coleta de Dados e Automação.

Silva, Gabriel Sales Mendes, Bezerra, Carlos Alberto Vasconcelos

Resumo - A Indústria 4.0 representa uma revolução tecnológica nas operações fabris, enfocando a digitalização e automação para otimizar a produção. Este estudo propõe uma metodologia para implementar sistemas de monitoramento e coleta de dados em fábricas digitais, destacando o uso do protocolo OPC UA no CLP S7 1200 Siemens. Por meio da instalação de sensores e algoritmos de inteligência artificial, busca-se obter insights em tempo real dos processos, impulsionando a eficiência operacional. No laboratório de Instrumentação da PUC Goiás, o trabalho demonstrou a eficácia da integração de sistemas variados via OPC UA, evidenciando a capacidade de configuração do servidor OPC UA no CLP S7 1200 da Siemens. Utilizando o Prosys OPC UA Monitor como sistema supervisor, a pesquisa validou a possibilidade de integrar sistemas de diferentes fornecedores, proporcionando soluções robustas, padronizadas, seguras e escaláveis.

Entretanto, a jornada de digitalização apresenta desafios, incluindo investimentos em infraestrutura e preocupações com a segurança dos dados. Concluindo, este trabalho não apenas atingiu com sucesso seus objetivos iniciais, mas também sublinhou a importância contínua do avanço tecnológico para a integração eficiente e segura de sistemas na era da Indústria 4.0.

Palavras chave — Indústria 4.0, Digitalização de fábricas, Coleta de dados, Automação de Processos, Protocolo OPC UA.

Industry 4.0 represents a technological revolution in manufacturing operations, focusing on digitalization and automation to optimize production. This study proposes a methodology to implement monitoring and data collection systems in digital factories, highlighting the use of the OPC UA protocol in the Siemens PLC S7 1200. Through the installation of sensors and artificial intelligence algorithms, the aim is to obtain real-time insights into processes, boosting operational efficiency.

In the Instrumentation laboratory at PUC Goiás, the work demonstrated the effectiveness of integrating various systems via OPC UA, highlighting the configuration capacity of the OPC UA server on the Siemens PLC S7

Este artigo foi desenvolvido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás)

G. S. M. Silva é acadêmico na PUC Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil (email: 20192003800030@pucgo.edu.br)

C. A. V. Bezerra é docente na PUC Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil (email: cav.eng@pucgoias.edu.br)

system, the research validated the possibility of integrating systems from different suppliers, providing robust, standardized, secure and scalable solutions.

However, the digitalization journey presents challenges, including infrastructure investments and data security concerns. In conclusion, this work not only successfully achieved its initial objectives, but also underlined the continued importance of technological advancement for the efficient and secure integration of systems in the industry 4.0 era.

Keywords — Industry 4.0, Digitalization of factories, Data collection, Process Automation, OPC UA Protocol.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização de fábricas é um dos principais aspectos da Indústria 4.0, que é a quarta revolução industrial. A digitalização refere-se à utilização de tecnologias digitais para automatizar e otimizar processos de produção, de modo a tornar as fábricas mais eficientes e competitivas [1].

Em termos gerais, a Indústria 4.0 pode ser definida como a convergência de tecnologias avançadas de automação, inteligência artificial, internet das coisas (IoT), entre outras, com os processos de fabricação. A digitalização de fábricas na Indústria 4.0 envolve a incorporação dessas tecnologias em todas as etapas da produção, desde o projeto até a entrega do produto.

A importância da digitalização de fábricas na Indústria 4.0 é bastante significativa, pois oferece diversas vantagens para as empresas. Por exemplo, a digitalização permite maior eficiência e flexibilidade na produção, com menor tempo de espera entre a solicitação do cliente e a entrega do produto. Além disso, a digitalização ajuda a reduzir custos, minimizar erros, otimizar o uso de recursos e melhorar a qualidade do produto final [2] [3].

Os objetivos da digitalização de fábricas na Indústria 4.0 incluem:

- Automatizar processos para aumentar a eficiência e a produtividade;
- Integrar sistemas e tecnologias de forma a melhorar a colaboração e a comunicação entre as equipes.
- Coletar e analisar dados em tempo real para tomar decisões mais difíceis e precisas;
- Personalizar a produção para atender às necessidades específicas do cliente;

- Promover a sustentabilidade ambiental e reduzir o desperdício.

Neste sentido, este Projeto Final de Curso tem o objetivo de desenvolver uma metodologia para digitalizar os dados relativos aos processos industriais e integrando em todos os níveis da pirâmide da automação, com seus diferentes protocolos, utilizando para isto o OPC UA (Open Platform Communications - Unified Architecture), um padrão aberto de comunicação, baseado em Ethernet. Por meio do protocolo OPC UA pode-se integrar vários protocolos de comunicações diferentes e ter acesso as variáveis digitalizadas pelos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) distribuídos pelas plantas industriais, conforme ilustrado na Figura 1 [4] [5].

Os equipamentos a serem utilizados para desenvolvimento do estudo, inclui CLP SIMATIC S7 1200 da Siemens, uma planta didática de vazão LAB VOLT e uma planta de temperatura. Softwares a serem utilizados serão TIA PORTAL da Siemens, Elipse E3, UaExpert.

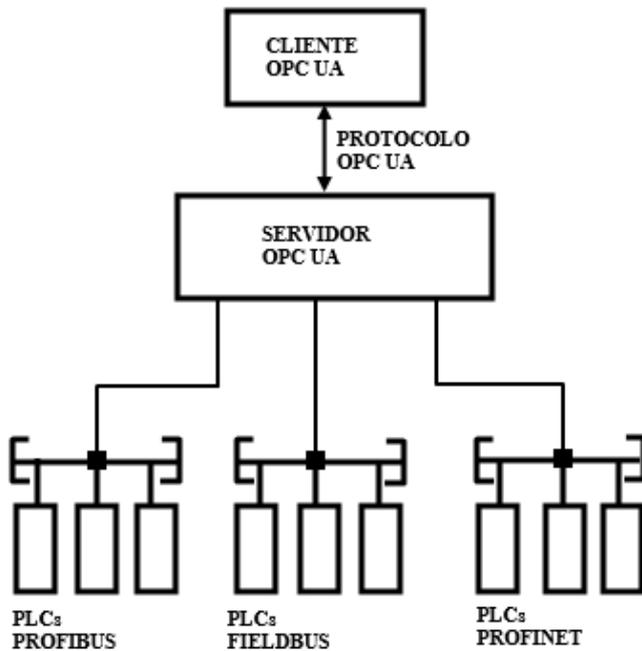


Figura 1: Configuração de uma planta industrial com protocolo OPC UA integrando vários protocolos distintos - Fonte: O autor.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Indústria 4.0

A indústria 4.0 refere-se à quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas nos processos de fabricação e produção. É um conceito que abrange várias inovações tecnológicas, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data, realidade aumentada, robótica avançada e sistemas ciberfísicos [6].

A figura 2 ilustra as bases que sustentam a teoria da indústria 4.0 [6].

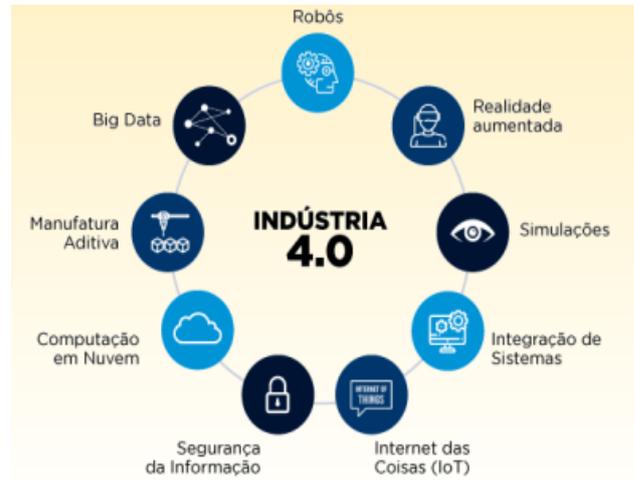


Figura 2: Bases da indústria 4.0 - Fonte: [6]

A indústria 4.0 busca transformar a maneira como as fábricas operam, promovendo a automação inteligente e a interconectividade de máquinas, produtos e pessoas. Isso permite a criação de "fábricas inteligentes" capazes de monitorar, analisar e adaptar seus processos de forma autônoma, visando melhorar a eficiência, a produtividade e a qualidade [7].

As tecnologias habilitadas da indústria 4.0, permitem a coleta massiva de dados em tempo real, que são analisados para tomar decisões rápidas e controladas. A conectividade entre máquinas e sistemas permite a comunicação instantânea e a colaboração entre diferentes partes da cadeia de produção [7].

Além disso, a indústria 4.0 impulsiona a personalização em massa, permitindo a produção de bens altamente customizados e adaptados às necessidades individuais dos clientes. A realidade aumentada e a simulação digital também desempenham um papel importante na otimização de processos e no treinamento de funcionários [7].

No entanto, a implementação da indústria 4.0 traz desafios, como a segurança cibernética, a privacidade dos dados e a necessidade de desenvolver habilidades e competências adequadas para lidar com as novas tecnologias. No entanto, espera-se que essa revolução industrial traga benefícios para as empresas, tornando-as mais competitivas [6] [7].

A figura 3 ilustra a topologia da pirâmide da automação industrial do ponto de vista da indústria 4.0. Nela é possível destacar os diferentes níveis envolvidos neste contexto: Corporativo; Gerenciamento; Supervisão; Controle e Chão de fábrica. Em cada nível, estão presentes softwares e hardwares que precisam de integração como um todo [8].

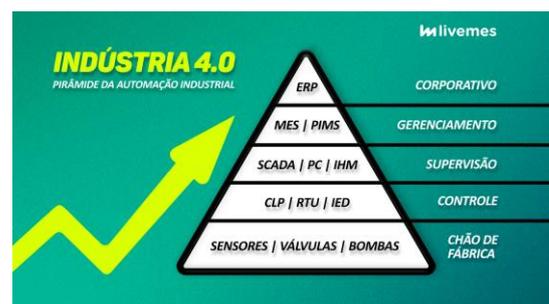


Figura 3: Pirâmide da automação industrial na indústria 4.0 - Fonte: [8]

B. Controladores Lógicos Programáveis - CLPs

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) são dispositivos amplamente utilizados na automação industrial para controlar processos e máquinas. O CLP Siemens S7-1200 é um modelo popular conhecido por sua confiabilidade e autenticidade. Ele permite uma programação de lógica de controle por meio de linguagens como o ladder e oferece comunicação eficiente com outros dispositivos. O S7-1200 é escalável, o que significa que pode ser adaptado a diferentes necessidades de automação, desde aplicações simples até sistemas complexos. Além disso, sua interface amigável e recursos avançados tornam uma escolha sólida para a indústria, contribuindo para a eficiência e segurança dos processos industriais [9].

O software de programação utilizado para o CLP Siemens S7-1200 é o TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal). O TIA Portal é uma plataforma de engenharia integrada que oferece diversas ferramentas para o desenvolvimento de projetos de automação. Ele suporta linguagens de programação como ladder, SCL (Structured Control Language) e até mesmo programação em blocos funcionais, tornando-o flexível para atender às necessidades do usuário. O TIA Portal permite a configuração fácil de hardware, como a adição de módulos de expansão ao CLP. Além disso, oferece recursos avançados, como simulação de projetos, diagnósticos em tempo real e monitoramento de processos. Sua interface intuitiva facilita a criação e depuração de programas, enquanto a integração com outros dispositivos da Siemens simplifica a comunicação e a interoperabilidade em sistemas de automação complexos. Essas características fazem do TIA Portal uma escolha poderosa e eficaz para programadores e engenheiros em projetos de automação industrial com o CLP Siemens S7-1200 [9].

Na era contemporânea da Indústria 4.0, os CLPs têm integrado tecnologias de comunicação avançadas, como o protocolo OPC UA, facilitando a comunicação e integração entre diferentes dispositivos e sistemas, independentemente do fabricante ou protocolo de comunicação original. Esta integração é crucial para a coleta e compartilhamento de dados entre diferentes níveis da automação industrial, promovendo ambientes de produção mais inteligentes e conectados [4].

C. Protocolos Industriais

Os protocolos industriais são padrões de comunicação fundamentais na automação industrial, permitindo a interação e a troca de informações entre diferentes dispositivos e sistemas dentro de ambientes industriais. Eles são vitais para a eficiência operacional das indústrias modernas, possibilitando a integração e a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes e sistemas de diferentes naturezas.

A diversidade de protocolos industriais, como ModBus, Modbus Plus, FildBus, CANopen, Interbus, Profibus, Profibus DP, DeviceNet, Ethernet/IP, LonWorks, Hart e BACnet, reflete a diversidade e a especificidade das necessidades de comunicação em diferentes contextos industriais. Esses protocolos podem ser categorizados em diferentes níveis, sendo alguns de baixo nível, focados em comunicações ponto a ponto e controle de hardware, e

outros de alto nível, que permitem a comunicação entre sistemas distintos e fornecem serviços de rede mais complexos [10] [11].

Além disso, existem protocolos de comunicação abertos e fechados. Os protocolos abertos são aqueles que têm suas especificações publicadas, permitindo a interoperabilidade entre diferentes sistemas e dispositivos, enquanto os protocolos fechados são proprietários e desenvolvidos para sistemas específicos, muitas vezes limitando a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes.

Cada protocolo possui características distintas, sendo adequados para diferentes tipos de aplicações e requisitos, como velocidade de transmissão de dados, distância de comunicação e resistência a interferências. A seleção apropriada de protocolos industriais é crucial para garantir a confiabilidade, a integridade dos dados e a eficácia da comunicação entre os componentes do sistema de automação [12].

Uma comunicação eficiente é essencial para o monitoramento em tempo real, o controle de processos e a tomada de decisões baseada em dados, aspectos centrais na implementação de soluções de Indústria 4.0. No entanto, a heterogeneidade dos protocolos industriais pode gerar desafios significativos na integração de sistemas, exigindo soluções que permitam a interoperabilidade entre diferentes padrões de comunicação.

Essa necessidade de interoperabilidade tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias e padrões abertos que facilitam a comunicação e a integração entre diferentes protocolos industriais. Dessa forma, os protocolos industriais desempenham um papel crucial na construção de sistemas de automação coesos e integrados, sendo elementos-chave para a realização dos objetivos de conectividade e eficiência da Indústria 4.0 [12] [10].

D. OPC UA

O OPC UA, ou Arquitetura Unificada OPC, representa uma evolução significativa na série de padrões e especificações OPC para telecomunicações industriais (é um avanço crucial nos padrões de telecomunicações industriais) e redes industriais. Desenvolvido originalmente em 1996 como OLE for *Process Control (Object Linking and Embedding for process control)*, o OPC visava fornecer uma ponte comum para aplicativos de software baseados no Windows e hardware de controle de processo, definindo métodos consistentes de acesso a dados de campo de dispositivos de chão de fábrica [13].

O OPC UA surge como uma resposta às limitações percebidas na tecnologia OPC original, principalmente sua dependência de sistemas operacionais da família *Microsoft Windows* e a conexão com a tecnologia DCOM, que apresentava desafios significativos em termos de confiabilidade, configuração, comunicação pela Internet e segurança da informação.

Proposto em 2006 pela Fundação OPC, o OPC UA é caracterizado por seu foco na comunicação com equipamentos e sistemas industriais para coleta e controle de dados. Ele é um padrão aberto, disponível gratuitamente e implementável sob a licença GPL 2.0, sendo multiplataforma e não vinculado a um sistema operacional ou linguagem de programação específica. A arquitetura

orientada a serviços (SOA) do OPC UA permite uma complexidade inerente, oferecendo funcionalidades de segurança robustas para autenticação, autorização, integridade e confidencialidade [4] [13].

O OPC UA utiliza um modelo de informações integral, permitindo que fornecedores e organizações modelem seus dados complexos em um namespace OPC UA, beneficiando-se da arquitetura avançada orientada a serviços do padrão. Este padrão tem colaborações com mais de 35 indústrias, incluindo farmacêutica, petróleo e gás, automação predial, robótica industrial, segurança, manufatura e controle de processos [4] [13].

O protocolo binário baseado em TCP é a camada de transporte mais comum para OPC UA, mas os conceitos gerais também se aplicam à comunicação baseada em HTTP e SOAP. O OPC UA é baseado em princípios-chave de Solicitação/Resposta, com respostas assíncronas, permitindo que servidores respondam em uma ordem diferente e mantenham responsividade [4] [13].

O servidor OPC UA é um mecanismo de dados sofisticado, capaz de apresentar informações de maneiras úteis para diversos tipos de dispositivos cliente OPC UA, sejam eles localizados no chão de fábrica ou em um servidor corporativo, proporcionando uma integração e interoperabilidade sem precedentes na automação industrial. Devido a sua capacidade de "conversar" com protocolos diferentes e assim unificar/interpretar esses diferentes protocolos de comunicação, atuando como uma espécie de "tradutor", se torna um protocolo extremamente essencial e com grande eficiência, pois há economia de custos e desempenho e potência no sistema, uma vez que não são mais necessários Gateways para realizar a comunicação/"tradução" de protocolos diferentes, já que isso pode ser feito em Alto Nível (OPC UA), sendo também eficiente na relação custo benefício, pelo fato de o sistema não mais necessitar de uma intervenção em Baixo Nível (Gateway) para a comunicação do sistema fluir mesmo com diferentes protocolos de comunicação na rede. Com isso, com a conectividade e sistemas ciber-físicos, o OPC UA tem se mostrado cada vez mais valioso [4] [13].

A Figura 4 ilustra um exemplo de aplicação do protocolo OPC UA, integrando tipos diferentes de protocolos (Modbus -serial e Modbus TCP), com os níveis SCADA, MES E ERP da pirâmide da automação industrial [14].

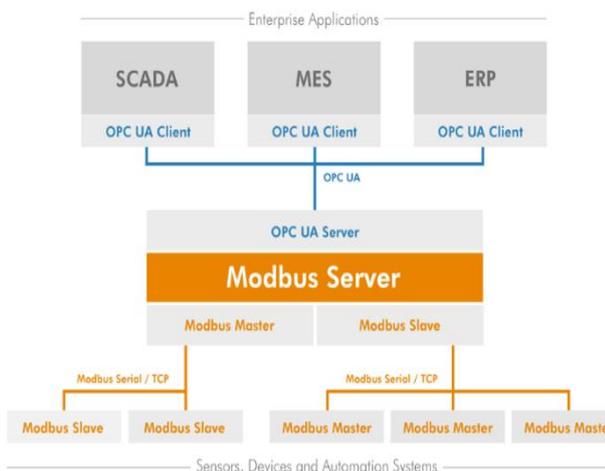


Figura 4: Aplicação do protocolo OPC UA Fonte: [14]

E. SCADA e IHM

Os sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e as interfaces homem-máquina (IHM) são componentes essenciais e sistemas supervisórios na automação industrial, atuando como pontes entre os operadores humanos e os sistemas de controle de processos. Enquanto sistemas supervisórios, o SCADA é utilizado para monitorar e controlar operações de planta em tempo real, coletando dados de diferentes locais para enviar a um sistema central, onde podem ser monitorados e analisados. Isso permite uma visão abrangente do status operacional, facilitando a detecção de irregularidades e a tomada de decisões informadas para otimizar a produção [15].

Por outro lado, as IHMs, como parte integrante dos sistemas supervisórios, fornecem uma interface visual que permite aos operadores interagirem com o sistema de controle. Elas são projetadas para apresentar informações de maneira clara e intuitiva, possibilitando o monitoramento do estado dos processos e a execução de comandos, como iniciar ou parar operações, ajustar parâmetros e responder a alarmes [16].

A integração de SCADA e IHM é vital para a eficiência operacional, proporcionando uma plataforma unificada para o controle e monitoramento de processos industriais. Esta integração é ainda mais crucial na era da Indústria 4.0, onde a interconectividade e a troca de informações em tempo real são fundamentais para a adaptabilidade e a resiliência dos sistemas de produção.

A evolução contínua dessas tecnologias, alinhada com o advento de soluções como o OPC UA, tem possibilitado níveis cada vez mais elevados de interoperabilidade e flexibilidade, permitindo que empresas de manufatura respondam de forma mais eficaz às demandas variáveis e explorem novas oportunidades de otimização e inovação [16].

F. Digitalização na Indústria 4.0

A digitalização na Indústria 4.0 representa uma transformação profunda nos processos industriais, marcada pela integração de tecnologias digitais avançadas. Esta revolução industrial é caracterizada pela convergência de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data e Análise de Dados, que juntas, possibilitam a criação de sistemas de produção inteligentes e autônomos.

Neste contexto, a digitalização permite a coleta, análise e utilização de grandes volumes de dados em tempo real, otimizando a eficiência operacional e a flexibilidade dos processos de produção. A interconexão de máquinas, sistemas e ativos através de redes digitais possibilita a comunicação e a colaboração entre diferentes componentes do sistema industrial e dos sistemas ciber físicos, promovendo a criação de ambientes de manufatura mais adaptáveis e resilientes [7].

A implementação de soluções digitais na Indústria 4.0 não só potencializa a automação e o desenvolvimento tecnológico em geral, mas também habilita novos modelos de negócios e estratégias de produção, como a manufatura aditiva e a produção personalizada. A capacidade de adaptar rapidamente os processos de produção às mudanças nas

demandas do mercado e às preferências dos consumidores é uma vantagem competitiva crucial na era digital.

A digitalização na Indústria 4.0, assim, é um pilar fundamental para a inovação e a sustentabilidade industrial, impulsionando o desenvolvimento de soluções avançadas que respondem aos desafios emergentes e às oportunidades da manufatura moderna, da logística avançada, da gestão de cadeia de suprimentos, do desenvolvimento de produtos inovadores e da prestação de serviços altamente tecnológicos e personalizados. A digitalização também é crucial para a otimização de recursos energéticos e materiais, contribuindo para práticas mais sustentáveis e ecoeficientes na indústria e também fora dela. Além disso, ela desempenha um papel vital na melhoria da segurança operacional e na mitigação de riscos, através da monitorização contínua e da análise preditiva. Em suma, a digitalização na Indústria 4.0 é um vetor de transformação multifacetado, impulsionando avanços em diversas áreas da atividade industrial e da tecnologia promovendo assim a resiliência, a competitividade e a sustentabilidade no cenário global [7].

III. METODOLOGIA

Com o intuito de estudar a análise de digitalização de fábricas, implementação de sistemas de monitoramento, coleta de dados e automação, foi desenvolvido um estudo inicial da estruturação de um protótipo em que fosse possível desenvolver os objetivos propostos no Projeto Final de Curso. Com esta finalidade, foi escolhida uma planta de estudo da variável de processos vazão, no laboratório de Instrumentação Industrial da PUC Goiás, Área 3, bloco G, sala5, que está ilustrada na Figura 5 [17].

Flow Process Station 3502-M0



Figura 5: Estação de estudo da variável de processos Vazão – 3502-M0 – Lab Volt
Fonte: [17]

A estação de estudo da variável de processos vazão, consiste em uma bomba centrífuga, reservatório de água de 75L, inversor de frequência, válvulas manuais e tubulações de processo feito de termoplástico transparente (PVC). A instrumentação de processo inclui um sensor de vazão tipo tubo Venturi, um transmissor de pressão diferencial (D/P) com visor LCD e botões de configurações com comunicação analógica em corrente 4-20 mA e sinais de saída digital com protocolo HART, um rotâmetro para indicação da vazão. A Figura 6, ilustra o fluxograma da estação de estudo da variável de processos vazão.

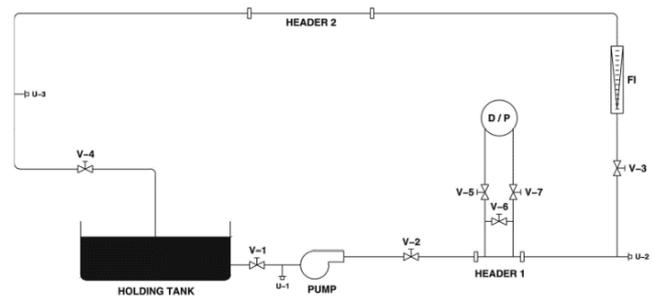


Figura 6: Fluxograma da estação de estudos da variável de processos vazão
Fonte: [17]

Uma segunda planta térmica foi incluída no trabalho, uma vez que a planta de vazão não possuía etapa térmica para estudo de temperatura. Para isto foi utilizado o esquema ilustrado na Figura 7, composta por um reservatório, uma resistência de aquecimento, um conversor ca-ca e um transmissor de temperatura com termopar tipo J, simulando uma situação prática de controle de aquecimento de fluidos dentro dos ambientes industriais.

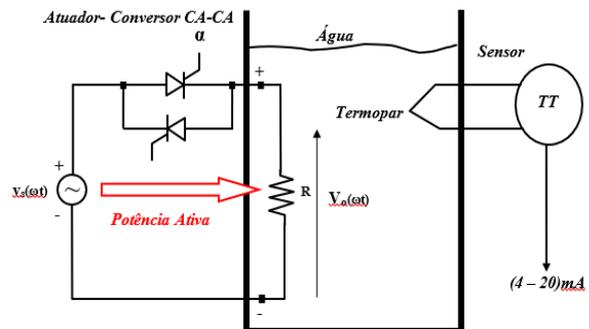


Figura 7: Planta térmica de aquecimento de fluidos
Fonte: O Autor

Na digitalização, coleta de dados e automação das plantas foi utilizado CLP SIMATIC S7 1200 da Siemens. A configuração do sistema foi realizada pelo software UA EXPERT [18], um cliente OPC UA e o monitoramento do processo realizado por meio do Software Prosys OPC UA Monitor [19].

O projeto foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira etapa foram realizados estudos para comunicação entre o CLP SIMATIC S7 1200 da Siemens, configurado como um servidor OPC UA e o software Cliente OPC UA "UaExpert". A Figura 8, ilustra o diagrama de blocos do sistema proposto, atuando na planta de vazão.

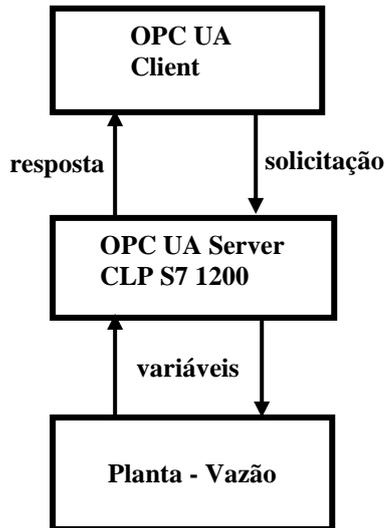


Figura 8 Comunicação servidor – Cliente OPC UA
Fonte: O Autor.

A comunicação OPC UA é suportada nas CPUs S7-1200 com a versão de firmware 4.4 ou superior. Uma CPU permite o acesso aos dados ao ser configurado como um Servidor OPC UA.

Para o acesso por Clientes OPC UA, o Servidor OPC UA armazena os tags CLP e outras informações na forma de nó. Esses nós estão interconectados e formam uma rede, também conhecida como espaço de endereços.

A CPU S7-1200 encaminha os dados através do S7-1200 OPC UA Server. Os dados são exibidos no OPC Cliente UAExpert.

A Figura 9 fornece uma visão geral da tarefa de automação, proposta nesta primeira etapa do Trabalho Final de Curso. O Cliente OPC UA "UaExpert" se comunica diretamente com o Servidor OPC UA S7-1200. Cliente e servidor estão conectados via Ethernet e se comunicam com OPC UA sobre TCP/IP.

Para autorizar o Cliente OPC UA a ter acesso de leitura e gravação a determinados tags CLP da CPU S7-1200, essas variáveis devem estar habilitadas para OPC UA [1].

Os tags CLP são fornecidos pela CPU S7-1200 para o Cliente OPC UA através da Interface OPC UA Server modelada no TIA Portal V16.

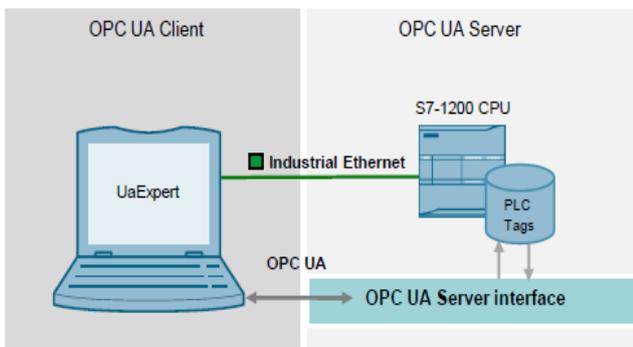


Figura 9: Tarefa de automação proposta no TFC I
Fonte: [9]

Funções implementadas para acesso as variáveis da planta industrial, são:

- Configuração do SIMATIC S7-1200 OPC UA Server;

- Modelagem da interface S7-1200 OPC UA Server para acesso ao Clientes OPC UA para determinados tags CLP;
- Exibição dos dados no Cliente OPC UA "UaExpert".

Na segunda etapa foi desenvolvido um Hardware para estudo do sistema, através da elaboração de uma rede Local (LAN), contendo dois CLPs S7 1200, um roteador Technicolor com quatro portas e um Computador Pessoal (PC). A Figura 10 ilustra o diagrama de blocos deste Hardware, com as plantas de vazão e térmica conectadas aos CLPs. Neste diagrama de blocos é possível verificar os endereços IP configurados em cada equipamento utilizado na rede local (LAN).

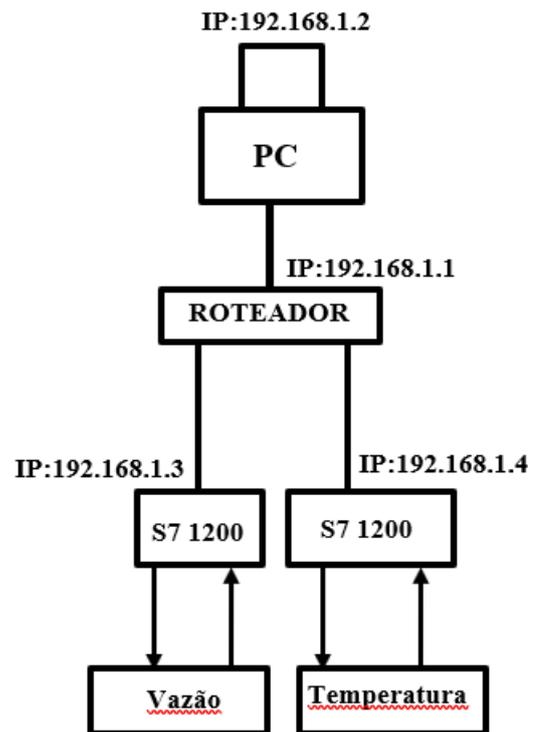


Figura 10: Hardware do sistema
Fonte: O Autor

Foi desenvolvido o software de controle de cada planta, utilizando a ação de controle PID e programados nas CPUs dos CLPs S7 1200.

Nesta segunda etapa, o Prosys OPC UA Monitor está configurado como cliente OPC UA, desempenhando o papel realizado na primeira etapa pelo Cliente UA EXPERT, porém com mais eficiência, pois a supervisão do processo ocorre de maneira mais intuitiva.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O fluxograma da Figura 11, ilustra a planta de vazão com as seguintes instrumentações:

- FI – Indicador de vazão – Rotâmetro;
- FT – Transmissor de vazão – (0-38 LPM/ 4-11,42mA);
- SC – Inversor de frequência;
- S71200 – CLP.

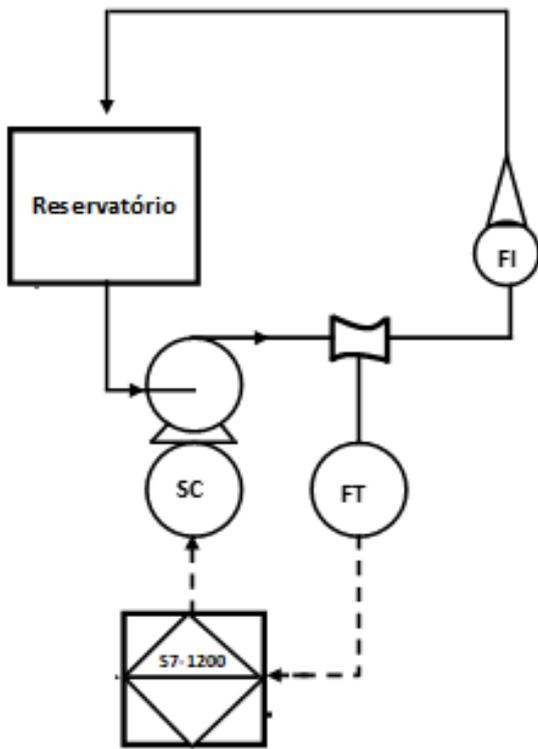


Figura 11: Fluxograma da planta de vazão
Fonte: O Autor

O fluxograma da Figura 12, ilustra a planta térmica, contendo os seguintes instrumentos:

- TY – Conversor ca-ca;
- TE – Sensor de temperatura – Termopar tipo J;
- TT – Transmissor de temperatura – (0-100°C/ 4-20 mA);
- TIC – CLP S7 1200.

O CLP S7-1200 é o controlador e o servidor OPC UA das plantas em estudo, e faz a digitalização das variáveis vazão e temperatura das plantas. O controle da vazão é realizado através do inversor de frequência que muda a frequência do motor de indução trifásico que aciona a bomba do sistema. A temperatura da planta térmica é controlada variando o ângulo de disparo dos SCRs do conversor ca-ca.

Foram utilizadas duas etapas de testes nas plantas, com diferentes clientes OPC UA.

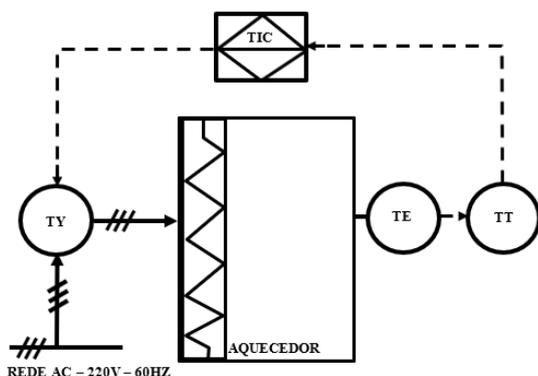


Figura 12: Fluxograma da planta térmica
Fonte: O Autor

A. ETAPA I – Cliente OPC UA expert UA

Na primeira etapa, o cliente OPC UA foi estabelecido pelo software EXPERT UA, instalado no PC. Isto foi realizado com a finalidade de configurar os servidores OPC UA estabelecidos no CLP S7 1200.

Através do cliente OPC UA, pode-se modificar os parâmetros de controle da planta de vazão e monitorar as variáveis envolvidas.

O mesmo procedimento foi realizado na planta de temperatura. Nesta primeira etapa foi possível acessar e modificar as variáveis disponibilizadas pelo servidor OPC UA, possibilitando o controle das plantas através do algoritmo PID estabelecido em cada CLP.

A Figura 13, apresenta os dados acessados e modificados pelo cliente nos servidores OPC UA (S7 1200), para cada planta.

#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	urce Timestamp	rver Timestamp
1	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric4	CORRENTE	8	Int16	22:40:26.059	22:40:26.059
2	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric5	KP	6	Int16	22:34:52.058	22:34:52.058
3	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric2	SETPOINT	25	Int16	22:35:18.059	22:35:18.059
4	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric7	TD	0	Int16	22:35:15.164	22:35:15.164
5	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric6	TI	35	Int16	22:34:56.057	22:34:56.057
6	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_1	NS4INumeric3	VAZAO	26	Int16	22:40:26.056	22:40:26.056
7	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric4	ALFA	0	Int16	19:25:41.025	19:25:41.025
8	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric5	KP	8	Int16	19:17:36.293	19:17:36.293
9	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric2	SETPOINT	39	Int16	19:24:37.023	19:24:37.023
10	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric7	TD	10	Int16	19:17:36.314	19:17:36.314
11	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric3	TEMP	39	Int16	19:21:10.022	19:21:10.022
12	SIMATIC.S7-1200.OPC-UA.ApplicationPLC_2	NS4INumeric6	TI	5	Int16	19:17:36.332	19:17:36.332

Figura 13: Variáveis acessadas e modificadas pelo Cliente OPC UA EXPERT UA
Fonte: O Autor

Nesta figura, para a planta de vazão tem-se:

- Parâmetros do Controlador PID
 - KP = 6 - (Ganho proporcional);
 - TI = 35 - (Tempo integral);
 - TD = 0 - (Tempo derivativo);
 - SETPOINT = 25 - (Referência de vazão);
- Variáveis na planta de vazão
 - Corrente = 8 mA (Corrente do transmissor de vazão)
 - Vazão = 26 LPM (Vazão na planta)

Para a planta térmica, tem-se:

- Parâmetros do Controlador PID
 - KP = 8 - (Ganho proporcional);
 - TI = 5 - (Tempo integral);
 - TD = 10 - (Tempo derivativo);
 - SETPOINT = 39 - (Referência de vazão);
- Variáveis na planta térmica
 - ALFA = 0 Graus (ângulo de disparo)
 - TEMP = 39 LPM (Temperatura na planta)

Os resultados apresentados puderam comprovar que a configuração do servidor OPC UA estava de acordo com o esperado e o cliente OPC acessou e modificou dados da planta de vazão e temperatura.

B. ETAPA II – Cliente Prosys OPC UA Monitor

Na segunda etapa, foi desenvolvido um supervisório com a finalidade de operar como cliente OPC UA. Para isto foi utilizado o software Prosys OPC UA Monitor da empresa Prosys OPC LTD. No Prosys foram criados elementos visuais e gráficos para a tela de monitoramento personalizada para as plantas de vazão e térmica. A Figura 14 apresenta a tela de supervisão da planta de vazão, onde as variáveis acessadas e modificadas pelo cliente OPC estão destacadas.



Figura 14: Supervisório da planta de vazão
Fonte: O Autor

Nesta tela, os parâmetros do PID podem ser modificados no servidor OPC UA (KP; TI; TD; SETPOINT) e as variáveis vazão e corrente são lidas do mesmo.

A Figura 15, apresenta a tela de supervisão da planta térmica. Na mesma é possível verificar as variáveis do controlador e da planta térmica.

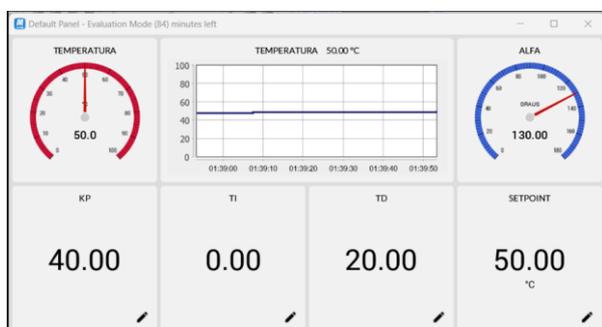


Figura 15: Tela de supervisão da planta térmica
Fonte: O Autor

Da mesma forma que ocorre na planta de vazão, as variáveis podem ser modificadas e lidas no servidor OPC UA.

Com as duas etapas concluídas, em que a configuração dos servidores e clientes OPC UA pode ser realizada, foi possível estabelecer uma sequência para ser utilizada na digitalização de fábricas, implementação de sistemas de monitoramento, coleta de dados e automação no contexto da Indústria 4.0, pois vários protocolos podem ser integrados através do protocolo OPC UA, bastando para isto que os fabricantes de CLPs integrem aos seus sistemas protocolos abertos e padronizados segundo o modelo ISO/OSI.

O Apêndice 1 apresentam fotos da montagem do sistema proposto neste Trabalho Final de Curso, mostrados nas Figuras 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19.

V. CONCLUSÃO

A conclusão deste Trabalho Final de Curso II revela avanços significativos na implementação da digitalização na Indústria 4.0, concentrando-se na configuração bem-sucedida do servidor OPC UA no CLP S7 1200 da Siemens. A integração eficaz com o Software Cliente OPC UaExpert permitiu não apenas a leitura de variáveis na planta industrial, mas também a atuação direta sobre elas.

Ao utilizar o sistema supervisório desenvolvido com o Prosys OPC UA Monitor, demonstramos a viabilidade da integração de sistemas de vários fornecedores, proporcionando soluções completas e interoperáveis. Este método padronizado mostrou-se confiável, seguro, escalável e independente de plataforma.

A implementação do OPC UA destacou sua importância na Indústria 4.0, evidenciando-se como uma ferramenta indispensável para integrar protocolos diversos. Este padrão emergiu como um facilitador essencial para a digitalização eficiente das informações, permitindo a coleta e transmissão seguras de dados entre dispositivos, sistemas de automação e aplicativos de software.

Neste contexto, reforça-se que, na era da Indústria 4.0, a relevância crítica de sensores confiáveis e seguros é cada vez mais evidente. Eles são a base essencial para a obtenção de dados precisos e confiáveis, fundamentais para a eficácia operacional e para a tomada de decisões informadas. Este trabalho não apenas conclui com êxito a proposta inicial, mas também destaca a importância contínua do avanço tecnológico, especialmente no que diz respeito à integração e segurança dos sistemas na era da transformação digital.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Salierno, L. Leonardi and G. Cabri, "The Future of Factories: Different Trends," *Applied Sciences*, p. 9980, 25 Oct 2021.
- [2] M. Ghaobakhloo, "Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability," *Journal of Cleaner Production*, 10 Apr 2020.
- [3] H. Kagermann, "Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0," *Management of Permanent Change*, pp. 23-45, 2014.
- [4] W. Sim, B. Song, J. Shin and T. Kim, "Data Distribution Service Converter Based on the Open Platform Communications Unified Architecture Publish-Subscribe Protocol," *Electronics*, p. 2524, 16 Oct 2021.
- [5] R. Schulenkov, "Industrial Network Protocols. OPC UA. Part 1.," *MCU*, 20 Sep 2020.
- [6] F. Pereira, "A indústria 4.0 e a digitalização industrial," *Feira virtual dos profissionais do setor elétrico de Portugal*, Jun 2022.
- [7] H. Lasi, H.-G. Kemper, T. Feld and M. Hoffmann, "Industry 4.0," *Business & Information Systems Engineering*, 19 Jun 2014.

- [8] LIVEMES, "Pirâmide da Automação Industrial: O Segredo da Eficiência," 21 Aug 2023. [Online]. Available: <https://www.livemes.com/piramide-da-automacao-industrial-o-segredo-da-eficiencia/>. [Accessed 2023].
- [9] Siemens, "Product Support," 09 jan 2023. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109738568/declaration-of-conformity-ec-eu-declaration-of-conformity-manufacturer?dti=0&lc=en-US>.
- [10] Pahc, "Protocolos de redes industriais: quais são os principais?," 10 Aug 2021.
- [11] H. W. Samonik, "Expansion and simplification of the bus communication options and bus configuration for Sigmatek controls," *Fachhochschule der wirtschaft*, 2018.
- [12] C. Neves, L. Duarte, N. Viana and V. F. d. Lucena, "OS DEZ MAIORES DESAFIOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: AS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO.," *II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*, 2007.
- [13] M. M. d. Carvalho, R. S. Mendonça, R. L. P. d. Medeiros, F. A. C. A. Junior and V. F. L. Junior, "Digitalização de uma planta industrial utilizando o protocolo de comunicação OPC-UA," *Universidade Federal do Amazonas*.
- [14] Prosys, "OPC UA Modbus Server," 2023. [Online]. Available: <https://prosysopc.com/products/opc-ua-modbus-server/>.
- [15] G. Yodav and K. Paul, "Architecture and security of SCADA systems: A review," *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 22 Sep 2021.
- [16] N. B. P. Constain, "Integração de sistemas SCADA com a implementação de controle supervisão em CLP para sistemas de manufatura," *UFSC*, 2011.
- [17] LabVolt, "Lab Volt Festo," 2023. [Online]. Available: <https://labvolt.festo.com/>. [Accessed 2023].
- [18] Unified Automation, "Unified Automation," 2023. [Online]. Available: <https://www.unified-automation.com/>. [Accessed 2023].
- [19] PROSYS OPC, "Multiplatform OPC UA Software," 2023. [Online]. Available: <https://prosysopc.com/>. [Accessed 2023].

Apêndice 1– Fotos do Experimentos

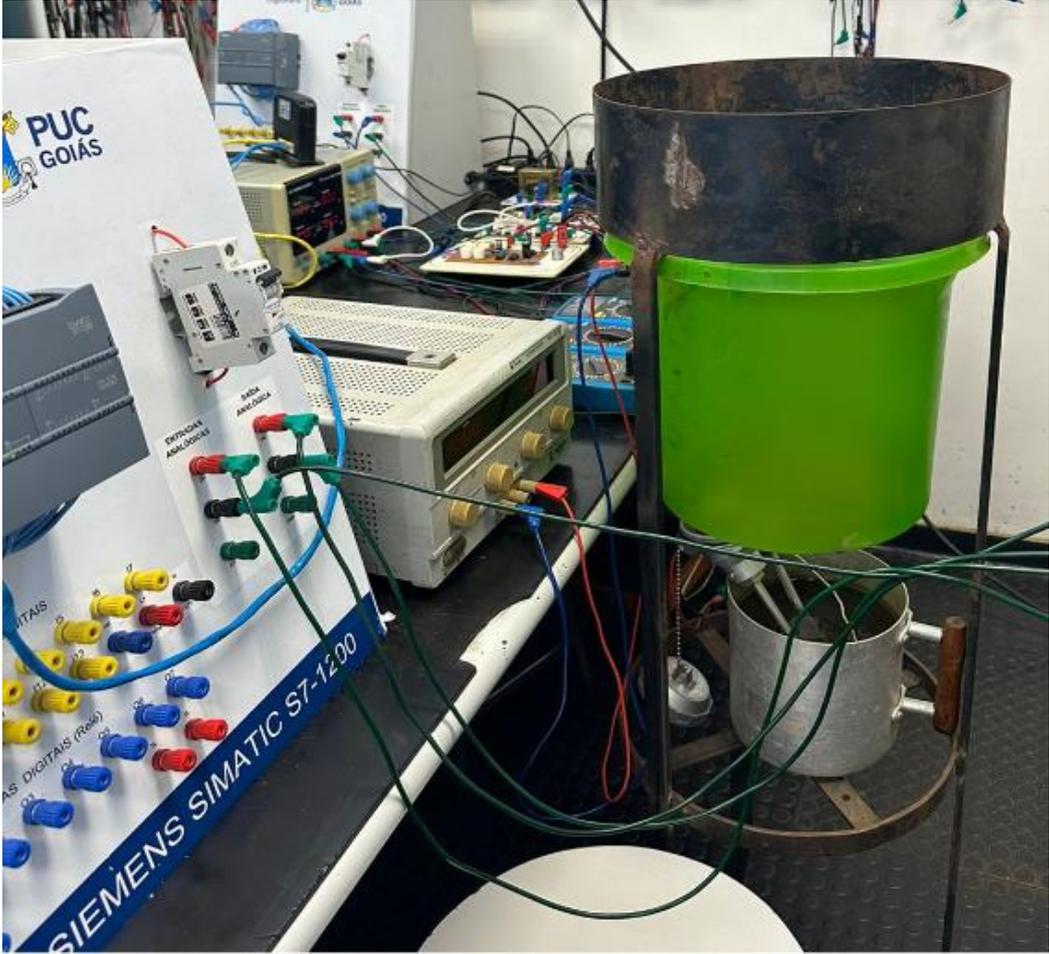


Figura 16: Montagem da Planta Térmica

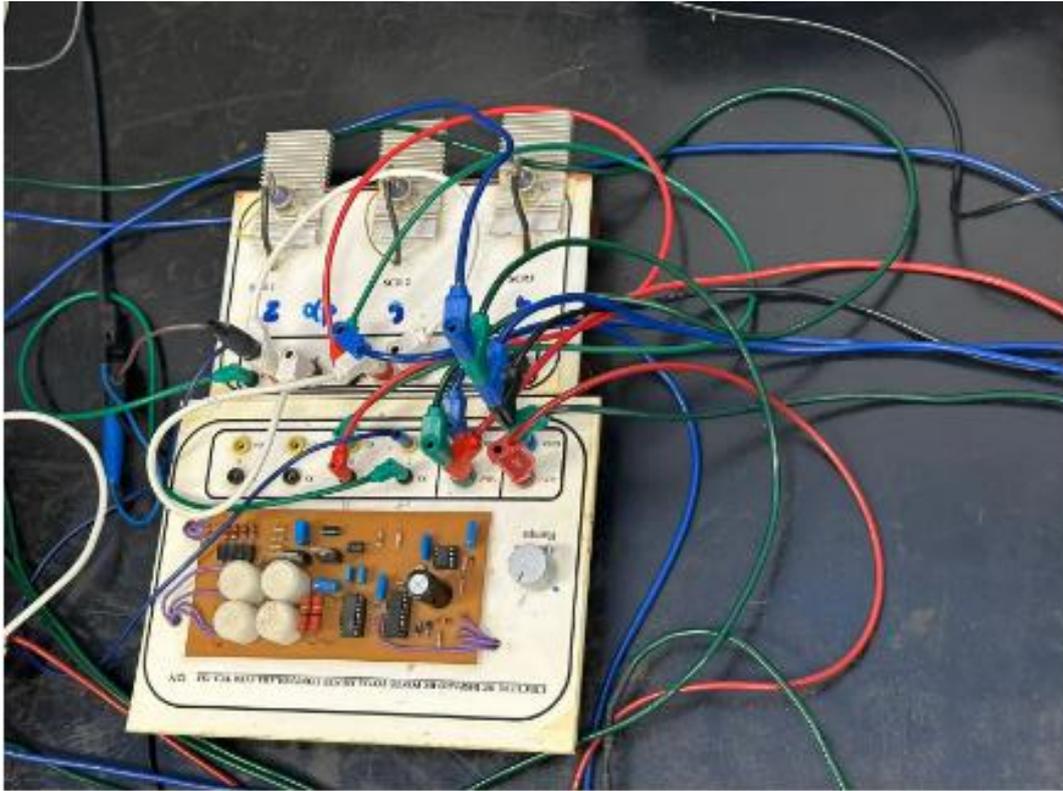


Figura 17: Conversor CA-CA



Figura 18: Montagem da Planta de Vazão



Figura 19: Rotâmetro Indicando a Vazão

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO 3

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Gabriel Sales Mendes da Silva, do Curso de Engenharia Elétrica, matrícula 2019.2.0038.0003-0, telefone: (62) 99384-2882, e-mail gsmds100@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado DIGITALIZAÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0 - ANÁLISE DE DIGITALIZAÇÃO DE FÁBRICAS, IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO, COLETA DE DADOS E AUTOMAÇÃO, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 14 de dezembro de 2023.



Gabriel Sales Mendes da Silva



Professor-orientador: Carlos Alberto Vasconcelos Bezerra