



AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NA PASTEURIZAÇÃO DE BEBIDAS: CONTROLE DE TEMPERATURA E VAZÃO COM INTEGRAÇÃO PROFINET E MODBUS

Rodrigo Santana Soares, Thiago Fernando Cuevas Mestanza, Pedro Cunha Garcia Lopes

Resumo - Este artigo descreve um projeto focado na aplicação de protocolos de redes em um sistema de controle industrial focado na pasteurização de bebidas. A integração multiprotocolo de redes Profinet e Modbus TCP, é realizada pelo CLP S7-1200. Uma placa Raspberry Pi é utilizada para coleta e transmissão de dados no sistema da remota Modbus. O projeto enfatiza a aplicação prática de protocolos de redes em um contexto industrial. Testes bem sucedidos validaram a eficácia da simulação, registrados em um caderno de testes. Esta iniciativa representa um valioso exercício para estudantes e profissionais interessados em automação industrial e redes industriais, destacando a importância da integração de tecnologias para otimizar processos.

Palavras-Chave – Controle Industrial, Pasteurização, Multiprotocolo, CLP S7-1200, Profinet, Modbus TCP.

INDUSTRIAL AUTOMATION IN BEVERAGE PASTEURIZATION: TEMPERATURE AND FLOW CONTROL WITH PROFINET AND MODBUS INTEGRATION

Abstract - This article describes a project focused on the application of network protocols in an industrial control system dedicated to the pasteurization of beverages. The integration multiprotocol of network Profinet and Modbus TCP, is carried out by the S7-1200 PLC. A Raspberry Pi board is used for data collection and transmission within the Modbus remote system. The project emphasizes the practical application of network protocols in an industrial context. Successful tests validated the effectiveness of the simulation, documented in a comprehensive test log. This initiative represents a valuable exercise for students and professionals interested in industrial automation and industrial networks, highlighting the importance of technology integration to optimize processes.

Keywords - Industrial Control, Pasteurization, Multiprotocol, S7-1200 PLC, Profinet, Modbus TCP.

I. INTRODUÇÃO

As redes de comunicação industrial tornaram-se indispensáveis entre dispositivos e equipamentos onde as empresas necessitam buscar e processar dados de forma ágil e eficaz. Para isso desenvolveu-se ao longo dos anos diversos meios físicos de comunicação industrial utilizando-se os

mais variados recursos como cabos de cobre, comunicação sem fio e cabos de fibra óptica. E os protocolos de comunicação industrial como Modbus, Hart, Foundation Fieldbus, ProfiNet, Profibus entre vários outros protocolos [1].

A automação industrial desempenha um papel essencial na otimização dos processos de pasteurização de bebidas, onde o controle preciso da temperatura e vazão é fundamental para garantir a qualidade e a segurança dos produtos finais. Nesse contexto, a integração de protocolos de redes, como o Modbus e o Profinet, torna-se um fator-chave para o sucesso da automação [2].

A pasteurização é a técnica baseada em usar temperaturas elevadas com a finalidade de pelo menos desativar alguns microrganismos, ou mesmo eliminá-los e, com isso, controlar o nível de atividade bacteriológica nos produtos, sem alterar profundamente suas propriedades [6].

Este artigo explora a aplicação da automação industrial na pasteurização de bebidas, com um foco especial na integração dos protocolos Modbus e Profinet realizada pelo Controlador Lógico Programável (CLP) Siemens S7-1200. A pasteurização, embora essencial, é um processo delicado que exige uma coordenação precisa entre diferentes dispositivos e sistemas. A integração desses protocolos permite uma comunicação eficaz entre esses componentes, garantindo o controle necessário.

Além disso, é importante destacar que o objetivo principal deste projeto vai além da simples automação. O seu propósito é exercitar a compreensão e a aplicação de protocolos de redes em um contexto industrial, sem a necessidade de montar um sistema com sensores e atuadores reais. Todos os componentes podem ser simulados no próprio sistema embarcado, o que torna o projeto valioso para estudantes e profissionais que desejam aprofundar seus conhecimentos em automação industrial e protocolos de redes.

O trabalho a ser apresentado é organizado da seguinte maneira: uma revisão bibliográfica sobre o sistema, acompanhada de uma descrição do protocolo Modbus, seguida pelo desenvolvimento do projeto, incluindo especificações, resultados e por fim, a conclusão.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção da revisão bibliográfica é baseada em um estudo fundamental sobre o tema da automação industrial e integração de protocolos de redes. O artigo [3] fornece uma análise aprofundada das práticas e desafios da integração de protocolos de redes, especificamente Modbus e Profinet, em sistemas de automação industrial. Esse estudo serviu como

um ponto de partida valioso para a compreensão das questões abordadas neste projeto.

O autor menciona que a integração de tecnologias com diferentes protocolos, por vezes apresenta dificuldades quando não são diretamente compatíveis, pois cada protocolo possui características próprias, sendo necessário torná-los compatíveis para que possam comunicar direta ou indiretamente. Este esforço de compatibilidade geralmente não é perfeito, pode apresentar atrasos na comunicação e em alguns casos é necessário utilizar equipamentos especiais como pontes, roteadores e gateways para converter e satisfazer todas as camadas do modelo OSI necessárias para a integração para ter sucesso [3].

Como o foco dessa parte inicial desse projeto é a remota Modbus TCP, é importante compreender o protocolo com um todo. O Modbus, desenvolvido pela Modicon Industrial Automation Systems, conhecida atualmente como Schneider, é uma estrutura de mensagem aberta utilizada para comunicação entre dispositivos mestre-escravo / cliente-servidor. Devido às características desse protocolo de comunicação, o Modbus é reconhecido industrialmente, sendo utilizado em diversos equipamentos em diferentes áreas da indústria [4]. O protocolo Modbus é baseado no paradigma de comunicação mestre escravo, onde o mestre é responsável por coordenar diversos escravos. O Modbus é utilizado no nível da camada da aplicação e foi inicialmente desenvolvido para ser utilizado na comunicação dos CLPs com sensores e atuadores.

E com relação a remota, o artigo [5] demonstra que um sistema de I/O Modbus, reduz os custos, pois diminui significativamente a quantidade de cabos necessários para a conexão dos dispositivos de campo. As conexões e configurações de Input e Output são blocos inerentes de um sistema de controle. Por muitas razões específicas, tais como em aplicações subaquáticas ou mais especificamente de acordo com as normas de segurança na indústria petrolífera, pode ser necessário um bloco de I/O remota, isto é, estando separado do controlador principal.

Este projeto de automação industrial na pasteurização de bebidas demonstra a aplicação prática de protocolos de redes em um contexto industrial simulado e destaca a importância da integração de tecnologias para otimizar processos industriais.

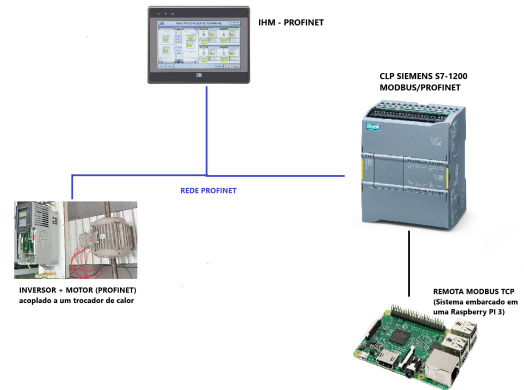
III. DESENVOLVIMENTO

Neste projeto de automação industrial, temos como objetivo aprimorar o processo de pasteurização de bebidas por meio da integração de sistemas multiprotocolo combinando uma rede Profinet com uma remota Modbus TCP. O CLP Siemens S7-1200, desempenha um papel central na coordenação e gerenciamento de todos os componentes. Com a capacidade de se comunicar com dispositivos Profinet e Modbus TCP, o controlador permite a sincronização eficiente de todos os processos envolvidos na pasteurização. Na rede Profinet, temos uma Interface Homem-Máquina (IHM) que oferece uma interface intuitiva para operadores, permitindo a configuração e o monitoramento em tempo real. Uma bomba, que atua como dispositivo escravo que está acoplado em um trocador de calor. A integração com uma remota Modbus TCP, foi feita

em uma Raspberry e que fornece os sinais de IO para o CLP S71200. Essa abordagem de multiprotocolo é uma parte fundamental da eficiência do nosso projeto.

A figura 1 a seguir ilustra a arquitetura geral deste sistema.

Figura 1: Arquitetura geral do sistema.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema inclui uma Interface Homem-Máquina (IHM) na rede Profinet. A IHM, especificamente uma IHM KTP da Siemens que irá desempenhar um papel crucial na operação e no monitoramento do sistema de pasteurização de bebidas. Para garantir um controle eficiente, a IHM será projetada com uma tela inicial para gerenciar diferentes processos que se alinham com as necessidades do sistema de pasteurização proposto. Além disso, a IHM deve fornecer gráficos em tempo real das variáveis analógicas, permitindo aos operadores um acompanhamento preciso do processo. Na seção de alarmes, a IHM deve ser capaz de fornecer diagnósticos detalhados da comunicação em toda a rede. Isso inclui a capacidade de monitorar a comunicação entre a IHM e o Controlador, bem como entre o Controlador, os escravos Profinet e a Remota Modbus. Além disso, a IHM deverá ser capaz de simular falhas de sensores e relatar essas falhas de forma clara e precisa. Essa capacidade de diagnóstico é essencial para a manutenção e solução de problemas, garantindo a continuidade do processo de pasteurização.

O Controlador Lógico Programável (CLP), da Siemens S7-1200, desempenha um papel central e crítico no sistema de automação industrial proposto. Sua função principal é coordenar todas as operações do processo de pasteurização de bebidas, integrando as diversas partes do sistema. O CLP recebe informações da Remota Modbus TCP, incluindo dados do sensor de temperatura, do sensor de nível e das condições de operação do sistema. Com base nesses dados, o CLP executa uma lógica de controle para manter a temperatura no tanque de pasteurização dentro dos parâmetros desejados, de tal forma que o CLP controla a velocidade do motor de uma bomba acoplado ao trocador de calor, regulando eficazmente a transferência de calor e, consequentemente, a temperatura. Em conjunto com a IHM Profinet, o CLP permite que os operadores monitorem e controlem o sistema de maneira eficiente, assegurando a qualidade e a segurança dos produtos durante todo o processo de pasteurização.

O motor de uma bomba conectado a um inversor, atuando como um escravo na rede Profinet, desempenha um papel fundamental no sistema, uma vez que está diretamente acoplado ao trocador de calor. Sua função é promover a circulação eficiente dos fluidos no processo de pasteurização, otimizando a transferência de calor. O motor é controlado pelo CLP, que ajusta sua velocidade com base nas informações do sensor de temperatura, assegurando que a temperatura no tanque de pasteurização seja mantida nos níveis desejados. Essa interação entre o motor e o CLP demonstra a capacidade do sistema em responder de forma dinâmica às condições do processo, garantindo a qualidade e a consistência dos produtos finais.

A Remota Modbus TCP, implementada por meio de uma Raspberry Pi, desempenha um papel fundamental no sistema de automação industrial. Ela atua como uma interface para adquirir e transmitir dados entre o CLP e o ambiente de processo. O circuito da remota terá, além do circuito, uma estrutura protetora feita de impressão 3D para envolver o sistema embarcado na Raspberry Pi, como podemos observar na figura 2.

Figura 2: Case para Raspberry Pi com todos elementos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A remota fornece sete pontos de entrada e saída, onde estão indicados na Tabela I a seguir. São mostradas todas as variáveis utilizadas na Remota Modbus nessa automação, bem como seu tipo, natureza, endereço e os valores esperados para que elas atuem.

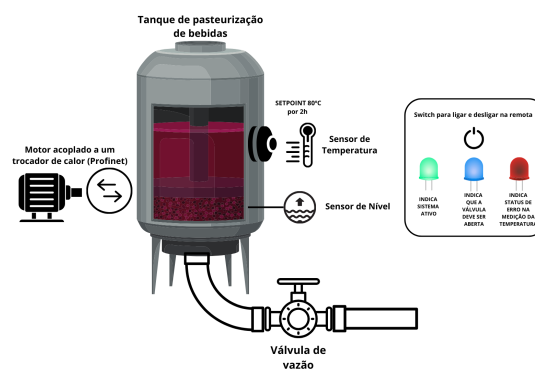
Tabela I: Variáveis analógicas (A), digitais (D), de entrada (I) e saída (O), do sistema de automação industrial na pasteurização de bebidas. Adaptado de [7].

Variável	Natureza	Tipo	Endereço	Range	Inicial
Switch (Liga e desliga)	DI	Bool	40002	0/1	0
Sensor de nível	DI	Bool	40003	0/1	1
Led Switch (Green)	DO	Bool	40004	0/1	0
Led Ready (Yellow)	DO	Bool	40005	0/1	0
Led Error (Red)	DO	Bool	40006	0/1	0
Sensor de temperatura	AI	uInt	40007	0 - 100°C	-
Abertura da válvula	AO	uInt	40008	0 - 100%	0%

É importante destacar que os endereços estão em Holding Register, pois é desse modo que o CLP S7-1200 consegue receber as informações do escravo Modbus. Outro ponto importante é que a Remota Modbus não executa lógica de controle; seu papel é puramente o de fornecer entradas e saídas para o CLP. Ela atua como um "ponteiro" confiável entre o mundo físico do processo de pasteurização e o controle lógico executado pelo CLP. As informações adquiridas e transmitidas pela Remota Modbus são essenciais para o controle preciso da temperatura e da vazão, garantindo que os produtos finais atendam aos padrões de qualidade e segurança. Além disso, sua capacidade de se comunicar por meio do protocolo Modbus TCP, utilizando um meio físico Ethernet, demonstra a flexibilidade do sistema em integrar diferentes dispositivos e protocolos de redes para alcançar os objetivos de automação industrial neste ambiente simulado.

A figura 3 a seguir ilustra a automação proposta para o processo de pasteurização com os elementos da Remota Modbus TCP.

Figura 3: Automação proposta para o processo de pasteurização.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O funcionamento do sistema pode ser compreendido através da seguinte explicação:

- Controle de Temperatura:

O sensor de temperatura na Remota Modbus TCP (AI) mede constantemente a temperatura no tanque de pasteurização. Essa informação é transmitida ao CLP, que executa um controle para ajustar a velocidade do motor (Profinet) de uma bomba no trocador de calor. A velocidade do motor afeta a transferência de calor no trocador de calor, o que, por sua vez, controla a temperatura do tanque. No caso de uma mudança de temperatura inesperada ou que indique um dado possivelmente não confiável, um led de aviso é acionado na remota.

- Controle da Vazão:

O CLP recebe informações do sensor de nível (DI) e do SWITCH ON/OFF (DI) na Remota Modbus. Quando a temperatura permanece em 80°C por 2 horas (critério para pasteurização), o sensor de nível e o SWITCH indicam a

condição para a abertura da válvula. O LED de alerta (DO) na Remota Modbus indica que a válvula pode ser aberta e o mestre é habilitado para inserir a porcentagem de abertura da válvula (AO).

- Diagnóstico de Alarmes:

A IHM Profinet oferece diagnósticos de alarmes detalhados, incluindo a comunicação entre a IHM, o CLP, os escravos Profinet e a Remota Modbus. Ela pode simular falhas de sensores e exibir falhas na IHM para fins de manutenção.

Para testar e validar o status do sistema completo foram feitos testes com o sensor de temperatura da remota Modbus, e com a velocidade do motor do escravo Profinet. No processo de pasteurização a temperatura a ser mantida é em torno de 80°C, porém para realizar os testes utilizaremos um outro intervalo de temperatura apenas para validação. E se a temperatura estiver abaixo ou acima deste intervalo o Led de status de mensagem não confiável deve ser acionado tanto na remota quanto na IHM.

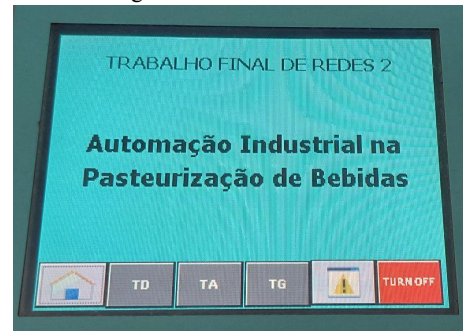
IV. RESULTADOS

Para assegurar o funcionamento eficaz da comunicação do sistema de automação industrial proposto, foram realizados testes de validação. Os testes visaram verificar a integridade e a confiabilidade das variáveis, garantindo que a comunicação entre o CLP, IHM e escravos estivessem precisos e consistentes.

O código de configuração do sistema do S7-1200 foi realizado por meio do TIA Portal, no qual a remota Modbus e o escravo Profinet, representado pelo motor, são conectados ao CLP Siemens S7-1200. Nesse contexto, o CLP desempenha a função de ler e escrever informações nos dispositivos conectados. A lógica ladder desenvolvida no software, conforme anteriormente explicado, estabelece uma relação entre a velocidade do motor e a temperatura registrada no sensor da remota. Essa relação visa manter constante a temperatura no tanque de pasteurização, possibilitando que, após um determinado período, com uma determinada temperatura, a válvula de vazão esteja pronta para ser acionada. É importante ressaltar que todas conexões mencionadas foram feitas por cabos ethernet.

Com o intuito de proporcionar uma visualização mais acessível do sistema, a IHM encontra-se conectada ao CLP, cuja configuração foi realizada por meio do TIA Portal. Para o escopo do nosso projeto, foram desenvolvidas quatro telas, além da tela inicial, conforme indicado na Figura 4.

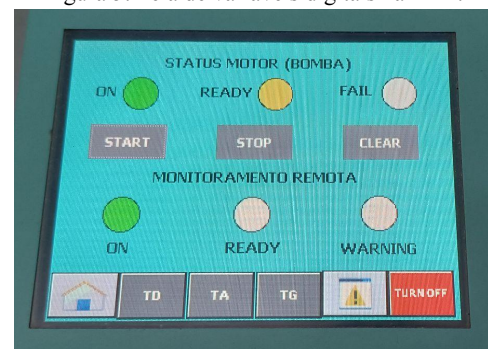
Figura 4: Tela Inicial IHM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tela dedicada às variáveis digitais do sistema, indicada na Figura 5, encontram-se os botões de start, stop e clear. Estes botões têm a função de, respectivamente, acionar o motor, interromper seu funcionamento e resetar falhas no motor. Além disso, nesta mesma tela, estão presentes LEDs que indicam o estado atual do motor. Adicionalmente, são exibidos LEDs correspondentes aos estados da remota Modbus (Figura 1). Esses LEDs informam se o sistema está ligado, se está pronto para acionar a válvula de vazão ou se ocorreu algum erro na leitura de temperatura, caso esteja fora do intervalo esperado.

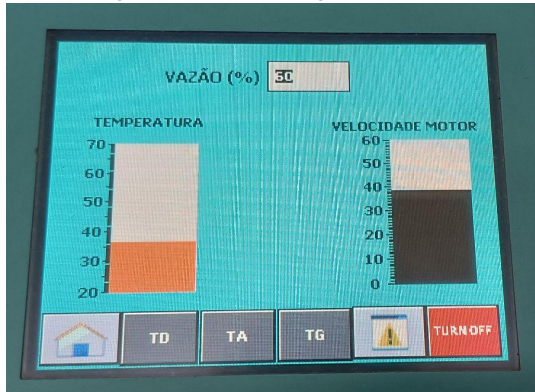
Figura 5: Tela de variáveis digitais na IHM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tela dedicada às variáveis analógicas do sistema, indicada na Figura 6, são exibidas as leituras de temperatura em °C e a velocidade do motor em Hz. Nessa visualização, é possível perceber a relação entre essas variáveis, pois, em linhas gerais, quanto maior a temperatura, menor a velocidade do motor, e vice-versa. Além disso, nesta mesma tela, é disponibilizada a porcentagem de abertura da válvula de vazão, a qual o operador deve inserir e pode ajustar conforme necessário.

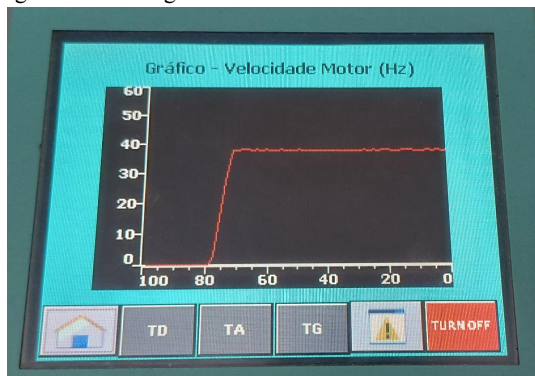
Figura 6: Tela de analógicas na IHM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na terceira tela, destacada na Figura 7, apresenta-se um gráfico em tempo real da variável analógica referente à velocidade do motor. Essa representação visual permite a observação das alterações ao longo do tempo na velocidade do motor.

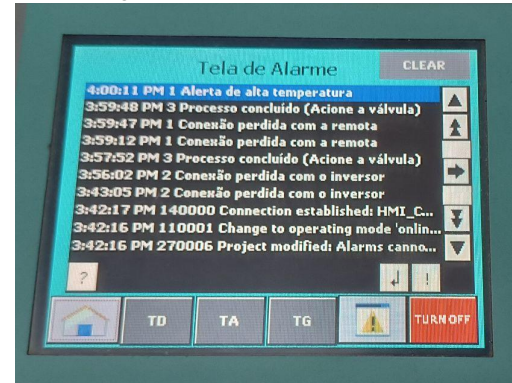
Figura 7: Tela de gráfico da velocidade do motor na IHM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na quarta e última tela, indicada na Figura 8, é apresentada a interface de alarmes do sistema. Nessa tela, foram configurados alarmes para notificar a ocorrência de perda de conexão com a Remota Modbus ou com o motor. Adicionalmente, foram implementados alertas para sinalizar o processo concluído e disponibilidade da válvula de vazão para abertura, bem como para alertar situações em que a temperatura ultrapasse os limites estabelecidos, ou seja, quando a temperatura estiver acima de 80 °C será notificado um alarme nesta tela, e quando estiver abaixo de 20 °C também será notificado um alarme.

Figura 8: Tela de alarmes na IHM.



Fonte: Elaborada pelo autor.

E através de diversos testes e ajustes no código, a lógica do sistema foi validada, tanto leitura e escrita das variáveis. E foi possível realizar o controle da velocidade do motor a partir da temperatura lida no sensor sem a necessidade de um PID.

Estes testes de validação da comunicação que foram feitos são essenciais para garantir a precisão e confiabilidade do sistema de automação industrial, bem como sua capacidade de manter os padrões de qualidade e segurança ao pasteurizar bebidas. Essa abordagem sistemática e detalhada demonstra a robustez do sistema e seu compromisso em entregar resultados consistentes e de alta qualidade.

V. CONCLUSÕES

Ao concluir este projeto de automação industrial para a pasteurização de bebidas, observou-se uma diferença de desempenho entre a remota Modbus e o escravo Profinet, especialmente em situações de perda de conexão, refletindo na resposta dos alarmes exibidos na IHM.

A lentidão percebida na remota Modbus pode ser atribuída às características inerentes dos protocolos de comunicação. O Profinet, reconhecido por sua eficiência em tempo real, destacou-se em comparação ao Modbus sobre TCP, que pode apresentar limitações em termos de velocidade. Esta observação ressalta a importância de considerar não apenas a funcionalidade individual dos protocolos, mas também a robustez do sistema como um todo.

Estratégias para lidar com perdas de conexão, como otimização de configurações e implementação de buffers para armazenamento temporário de dados, podem ser consideradas para minimizar os impactos da lentidão. O Controlador Siemens S7-1200 (CLP) junto com a IHM desempenhou um papel central, permitindo o controle preciso da temperatura do tanque de pasteurização e a gestão da vazão do líquido.

A inclusão de um motor de uma bomba acoplada ao trocador de calor revelou-se eficaz para otimizar a transferência de calor e assegurar a qualidade do processo. A Remota Modbus TCP, baseada em uma Raspberry Pi, atuou como uma interface confiável, facilitando a comunicação entre o mundo físico do processo e o controle lógico do CLP.

Este projeto não apenas avançou na aplicação de tecnologias de automação industrial, destacando a importância da integração de protocolos de redes para otimizar processos críticos, mas também proporcionou um valioso aprendizado prático em protocolos. Ao enfrentar desafios e incorporar soluções, fortalecemos nosso entendimento, contribuindo para o aprimoramento das habilidades em automação industrial.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] RODRIGUES, Patrick Fernando; MERIGUE, Rafael; SOUZA, Kleber Márcio de. Protocolo Modbus-Rtu: comunicação entre clp e i/o remoto. Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa, [S.l.], v. 38, n. especial, p. 1152-1164, nov. 2022. ISSN 2596-2809. Disponível em: <<http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/2719>>. Acesso em: 22 out. 2023.
- [2] FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA STÊNIO HENRIQUE COUTO MONTES PINTO ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA AUTOMAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS CARATINGA. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/3381/1/TCC%20-%20ST%c3%8aNIO%20HENRIQUE%20COUTO%20MONTES%20PINTO.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2023.
- [3] D. Santiago, A. Cordeiro e G. Almeida, "Integração de interfaces remotas para aplicações de automação industrial", 2021 Fórum Internacional de Jovens Engenheiros (YEF-ECE) , Caparica / Lisboa, Portugal, 2021, pp. 10.1109/YEF-ECE52297.2021.9505147.
- [4] J. M. A. do Nascimento, P. B. Lucena, Protocolo Modbus, Redes para Automação Industrial, Universidade do Rio Grande do Norte, 2003.
- [5] ALVES GUEDES, A. et al. DESENVOLVIMENTO DE UMA I/O REMOTA COM COMUNICAÇÃO MODBUS DE BAIXO CUSTO. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.semanaacademica.com.br/system/files/artigos/final_-_desenvolvimento_de_uma_io_remota_com_comunicacao_modbus.pdf>. Acesso em: 24 out. 2023.
- [6] HORACIO, D. Elaboração de um modelo para o controle do processo de pasteurização em cerveja envazada (In-Package). Ufrgs.br, 2023.
- [7] FABIANO, K. et al. AUTOMAÇÃO DE FORNOS DE REAQUECIMENTO PARA A PREPARAÇÃO DE BARRAS METÁLICAS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_431.pdf>. Acesso em: 22 out. 2023.