

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE DOSAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS PERIGOSOS PARA PROCESSO DE LIXÍVIA DE GRAFITE

Marcos Alberto Saldanha¹
Karolliny Danielle Santos²
Márcio Faria Santos³

RESUMO

No contexto industrial, a manipulação de produtos químicos corrosivos e tóxicos representa um alto risco devido aos seus efeitos adversos à saúde e ao potencial de causar situações de risco de vida. A automação deste processo se apresenta como uma solução eficaz para minimizar esses riscos. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de um sistema de automação do processo de dosagem de produtos químicos e preparação de solução ácida para uso na lixívia de grafite em empresas que beneficiam tal mineral. Isso com o intuito de evitar o contato direto de pessoas com esses produtos, reduzindo, assim, os riscos de acidentes. Para alcançar esse objetivo, foram aplicadas técnicas de automação industrial. O desenvolvimento incluiu a criação de um descritivo funcional, especificando o comportamento esperado do sistema e a interação com o operador via IHM (interface homem-máquina), além da identificação de todos os dispositivos de campo. A instrumentação utilizou-se transmissores de nível e células de carga para enviar dados ao CLP (controlador lógico programável), que converte esses sinais em valores úteis. As válvulas de campo foram controladas pelas saídas digitais do CLP, com *feedback* de posição. A programação do CLP foi realizada no software TIA Portal V17, utilizando lógica ladder e diagrama de blocos de função, otimizando a lógica para reaproveitamento de código. As telas da IHM, modelo TP700 Comfort 7" Siemens, exibiram o status dos tanques e válvulas, modos de operação e alarmes, e se comunicou com o CLP via PROFINET. Espera-se que este trabalho contribua para a disseminação e aplicação de tecnologias de automação industrial, promovendo maior segurança e redução de riscos em processos industriais envolvendo produtos químicos perigosos.

Palavras-Chave: Automação Industrial, Produtos Perigosos, Segurança.

PROTOTYPE OF AN AUTOMATION SYSTEM FOR HAZARDOUS CHEMICAL DOSING IN THE GRAPHITE LEACHING PROCESS

ABSTRACT

In the industrial context, handling corrosive and toxic chemicals poses a high risk due to their adverse health effects and potential to cause life-threatening situations. Automating this process emerges as an effective solution to minimize these risks. The present work aims to develop a prototype of an automation system for the dosing process of chemical products and the preparation of an acidic solution for use in graphite leaching in companies that process this mineral. The goal is to prevent direct human contact with these substances, thereby reducing the risk of accidents. To achieve this objective, industrial automation techniques were applied. The development included the creation of a functional description specifying the expected system behavior and operator interaction via HMI (human-machine interface), as well as the identification of all field devices. The instrumentation utilized level transmitters and load cells to send data to the PLC (programmable logic controller), which converts these signals into useful values. The field valves were controlled by the PLC's digital outputs, with position feedback. The PLC programming was carried out using TIA Portal V17 software, employing ladder logic and function block diagrams, optimizing the logic for code reuse. The HMI screens, using the Siemens TP700 Comfort 7" model, displayed the status of tanks and valves, operating modes, and alarms, and communicated with the PLC via PROFINET. It is expected that this work will contribute to the dissemination and application of industrial automation technologies, promoting greater safety and risk reduction in industrial processes involving hazardous chemicals.

Keywords: Industrial Automation, Hazardous Products, Safety.

Recebido em 31 de março de 2025. Aprovado em 29 de abril de 2025

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais – E-mail: marcos.saldanha@uemg.br

² Universidade do Estado de Minas Gerais – E-mail: karolliny.santos@uemg.br

³ Universidade do Estado de Minas Gerais – E-mail: marciofaria_ita@outlook.com

INTRODUÇÃO

A indústria química desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e social, oferecendo uma variedade de produtos essenciais para diversas aplicações (ALVES, 2020). No entanto, muitos desses produtos, como o ácido sulfúrico e o ácido fluorídrico, são altamente perigosos devido à sua natureza corrosiva, tóxica ou inflamável, representando desafios significativos em termos de manuseio e segurança (ALVES, 2020). A automação industrial surge como uma solução promissora para mitigar os riscos associados ao manuseio dessas substâncias perigosas, permitindo a substituição do contato humano direto por sistemas automatizados (OLIVEIRA, 2020).

Desde os anos 50, houve avanços significativos na automação industrial, impulsionados pela competitividade do mercado e pela busca por aumento e otimização da produção (GROOVER, 2019). Groover (2019) destaca várias vantagens da automação, como aumento da produtividade, redução de custos de mão de obra e melhoria da segurança do trabalhador. Operações industriais que envolvem produtos químicos exigem procedimentos especializados e o uso de equipamentos de proteção individual para garantir a segurança dos trabalhadores e evitar danos ambientais (LIMA et al., 2020).

A operação industrial de lixívia com uma solução contendo ácido sulfúrico, ácido fluorídrico e água é usada para purificar grafite natural cristalino, removendo impurezas. O processo envolve imersão do grafite na solução, onde os ácidos reagem com as impurezas. O ácido sulfúrico dissolve materiais orgânicos e metálicos, enquanto o ácido fluorídrico remove sílica (SILVA; SOBRAL, 2021). Após a imersão, a grafite é lavada, filtrada e seca. Este método requer cuidado devido à natureza corrosiva dos ácidos e exige medidas de segurança adequadas.

Empresas do ramo de extração e beneficiamento de minério, como o grafite, comumente utilizam o processo de lixiviação na produção de seu grafite natural cristalino. No entanto, muitas vezes, o processo de preparação dessa solução é feito de forma manual, o que expõe os operadores a riscos.

Nesse contexto, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de dosagem automatizado por meio de um controlador lógico programável (CLP) e uma interface homem-máquina (IHM) configurada com a plataforma Tia Portal. Esse sistema permitirá ao operador parametrizar, controlar e visualizar todo o processo de forma remota, evitando assim a exposição direta aos produtos químicos perigosos.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa é categorizada como sendo de natureza aplicada. Segundo Prodanov e Freitas (2013), estudos desse tipo buscam primordialmente gerar conhecimento prático para resolver questões particulares. Quanto aos objetivos, o presente estudo se enquadra na categoria exploratória. De acordo com os mesmos autores, uma pesquisa exploratória tem como propósito principal esclarecer um problema, visando uma melhor compreensão e a formulação de hipóteses relacionadas a ele.

Componentes, ferramentas e tecnologias

Notebook Dell Inspiron 5558

Para utilização de *software* de programação foi utilizado um notebook Dell Inspiron 5558, equipado com o sistema operacional Windows 11 *Home Single Language* 64-bit (versão 10.0, Build 22621), configurado em português. O modelo conta com um processador Intel Core i5-5200U, de 2,2 GHz, com quatro núcleos. Possui 8 GB de memória RAM.

Software Siemens TIA Portal V17

Para o desenvolvimento da programação do CLP e IHM foi utilizado o software TIA Portal V17, desenvolvido pela Siemens, é uma plataforma de engenharia integrada para automação industrial, oferecendo uma interface intuitiva e funcionalidades avançadas para o projeto, configuração, programação e manutenção de sistemas de automação. Com suporte a uma ampla gama de dispositivos, o software permite a integração de diferentes componentes e oferece flexibilidade e escalabilidade para atender a diversas necessidades industriais (SIEMENS, 2024i).

CLP Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC

Para controlar o sistema foi utilizado o CLP Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, artigo número 6ES7214-1AG40-0XB0, CPU compacta, trabalhando em corrente contínua (CC), Entradas e saídas integradas: 14 entradas digitais 24 VCC; 10 saídas digitais 24 VCC; 2 entradas analógicas 0-10 VCC, fonte de alimentação: tensão contínua na faixa de 20,4 a 28,8 VCC, memória de programa/dados 150 KB e interface PROFINET (SIEMENS, 2024a). A escolha deste se justifica devido ser um CLP robusto com comunicação PROFINET, permite a expansão de entradas e saídas digitais e analógicas, tudo isso com custo relativamente baixo no mercado.

Módulo de entradas digitais Siemens SIMATIC SM 1221 16 DI

Para ampliação do número de entradas digitais foram utilizados dois módulos de expansão modelo SIMATIC S7-1200 SM 1221, artigo número 6ES7221-1BH32-0XB0, com 16 entradas digitais, operando com tensão 24 VCC (SIEMENS, 2024b). Este módulo será utilizado para ampliar a capacidade de receber sinais digitais de campo, como, por exemplo, se uma válvula está aberta ou não, se uma emergência está ativa ou não, permitindo também que o sistema possa passar por uma ampliação futura.

Módulo de saídas digitais Siemens SIMATIC SM 1222 16 DO

Para ampliação do número de saídas digitais foram utilizados dois módulos de expansão modelo SIMATIC S7-1200 SM 1222, artigo número 6ES7222-1BH32-0XB0, com 16 saídas digitais, operando com tensão 24 VCC (SIEMENS, 2024c). Este módulo foi utilizado para ampliar a capacidade de enviar sinais digitais a campo, como, por exemplo, acionar uma válvula solenoide que permitirá o fluxo de ar comprimido para abrir uma válvula com atuador pneumático em campo, permitindo também que o sistema possa passar por uma ampliação futura aumentando a sua capacidade de acionar dispositivos em campo.

Módulo de entradas analógicas Siemens SIMATIC SM 1231 4 AI

Para ampliação do número de entradas analógicas foram utilizados dois módulos de expansão modelo SIMATIC S7-1200 SM 1231, artigo número 6ES7231-5ND32-0XB0, com 4 entradas analógicas, operando com tensão 24 VCC, recebendo sinais nas faixas +/-10 V, +/-5 V, +/-2,5 V, +/-1,25 ou 0 a 20 mA/4 a 20 mA, com 15 bits de resolução e bit de sinal (SIEMENS, 2024d). Este módulo foi utilizado para ampliar a capacidade de receber sinais analógicos de campo, como, por exemplo, um sinal de corrente recebido de um sensor de nível ultrassônico na faixa de 4 a 20 mA, onde a faixa poderia ser convertida para uma escala de 0 a 100% para indicar o nível de um reservatório.

Módulo de saídas analógicas Siemens SIMATIC SM 1232 4 AO

Para ampliação do número de saídas analógicas foram utilizados dois módulos de expansão modelo SIMATIC S7-1200 SM 1232, artigo número 6ES7232-4HD32-0XB0, com 4 saídas analógicas, operando com tensão 24 VCC, enviando sinais a campo nas faixas +/-10 V

com resolução de 14 bits e 0 a 20 mA/4 a 20 mA com 13 bits de resolução (SIEMENS, 2024e). A princípio, este módulo não foi utilizado devido à atuação dos dispositivos em campo ser feita por meio das saídas digitais. No entanto, pensando em uma futura melhoria ou ampliação, este *hardware* já foi considerado no projeto de automação. Justificando, por exemplo, pela instalação futura de uma válvula proporcional que abriria de 0 a 100% mediante o recebimento de um sinal analógico na faixa de 4 a 20 mA vindo do CLP.

IHM Siemens TP700 Confort 7 polegadas

Foi utilizado, para fins de operação e supervisão do sistema, uma IHM Siemens modelo SIMATIC HMI TP700 Comfort, Comfort Panel, operação por toque, display "Thin Film Transistor" (TFT) - na tradução livre "Transistor de Película Fina- widescreen de 7", 16 milhões de cores, interface PROFINET, interface MPI/PROFIBUS DP, 12 MB de memória de configuração, sistema operacional Windows CE 6.0, configurável a partir do WinCC Comfort V11 (SIEMENS, 2024g).

Switch Ethernet Industrial SCALANCE XB005 Siemens

Para a conexão de CLP e IHM, futura expansão de rede e conexão com PC, foi utilizado um *switch* Ethernet industrial não gerenciável modelo SCALANCE XB005, com velocidade de 10/100 Mbit/s. Este *switch* é utilizado para a configuração de pequenas topologias em estrela e linha, possui diagnósticos por LED, IP20, alimentação de 24 V AC/DC, e conta com 5 portas 10/100 Mbit/s de par trançado com soquetes RJ45 (SIEMENS, 2024f).

Módulo de relé Phoenix Contact PLC-RSC- 24DC/21

Para promover a interface entre as saídas digitais do CLP e os dispositivos acionados foram utilizados módulos relés de interface CLP, artigo número 2966171 do fabricante Phoenix Contact, composto de borne básico CLP-BSC/21 com conexão a parafuso e relé miniatura plugável com contato de potência para montagem sobre trilho de fixação padrão *Deutsches Institut für Normung* (DIN) 35/7,5 e tensão de entrada 24 VCC (PHOENIX, 2024).

Válvula solenoide piloto elétrica 3/2 vias 24 VCC

Para direcionar o ar do circuito pneumático para abertura das válvulas de direcionamento de água/ácido foi utilizado a válvula solenoide piloto servo-comandada de 3/2 vias comandada indiretamente. Com corpo em alumínio, temperatura do fluido de -10 a 60 graus, temperatura ambiente de -10 a 60 graus, pressão de operação de 1 a 10 bar, diâmetro nominal (DN) 6, conexão elétrica plugue, construção A, tensão de alimentação 24 VCC e conexão por rosca.

Indicador de pesagem 3105C – Inox IP69K Alfa Instrumentos

Foi utilizado um indicador de pesagem da linha 3100C do fabricante Alfa Instrumentos, o indicador modelo 3105C apresenta características robustas e versáteis para ambientes industriais adversos. Com leitura de peso contínua e pico, inclui sinalização de transmitindo/recebendo no painel e comando remoto para acionamento das teclas. Oferece portas seriais RS-232 e RS-485, com protocolos de comunicação como Modbus-RTU e Ethernet TCP/IP, o que será muito útil para comunicação com CLP. Com 10 filtros digitais programáveis, sinalizador luminoso para verificação de peso e 4 relés de nível programáveis, é construído em aço inoxidável 304 robusto e possui suporte acoplado para fixação em mesa ou parede. Apresenta grau de proteção IP69K, garantindo resistência a jatos d'água e poeira, e oferece precisão nas pesagens de até 10.000 divisões (ALFA, 2024b).

Célula de carga modelo H Alfa instrumentos 20.000 kg

Foi utilizado uma célula de carga modelo H da Alfa Instrumentos para promover a pesagem dos produtos e obter a quantidade desejada de cada produto por meio do conhecimento do peso de cada um em um tanque intermediário. Projetada para trabalhar com o suporte articulado duplo elo (SADEL), garante o alinhamento preciso da carga, dispensando o uso de tirantes de ancoramento devido aos seus 5 graus de liberdade. Com capacidade nominal de 20.000 kg, em aço carbono ou aço inoxidável, a célula oferece sensibilidade de $2.0000 \pm 0.1\%$ mV/V, opera em temperaturas de -5 a +60°C (com compensação de temperatura de 0 a 50°C) e possui uma classificação de proteção IP67, garantindo confiabilidade e durabilidade em ambientes adversos (ALFA, 2024a).

Válvula borboleta pneumática PP NF 3 polegadas com indicação de posição

Para o controle de fluxo dos ácidos fluorídrico e sulfúrico, água e solução dos mesmos, foram utilizadas 5 válvulas do tipo borboleta do fabricante Aerodinâmica Tubulações Termoplásticas. O corpo das válvulas é confeccionado em material plástico polipropileno (PP), com vedação resistente a produtos químicos (AERODINÂMICA, 2024). Possuem diâmetro de 3 polegadas para garantir uma vazão adequada para dosagem rápida, e são conectadas por flanges *American National Standards Institute* (ANSI). Foram acionadas por atuadores pneumáticos de simples ação, com retorno por mola, sendo do tipo normalmente fechada (NF) com ar para abrir. A posição aberta ou fechada foi indicada por meio de um indicador de posição montado sobre o atuador pneumático que por meio de dois contatos que, acionados mecanicamente pelo movimento da válvula, envia sinal de tensão para as entradas do CLP, indicando dessa forma a posição da válvula.

Transmissor de nível ultrassônico SITRANS Probe LU240 Siemens

O SITRANS Probe LU240 é um transmissor de nível ultrassônico ideal para medições de nível, volume e vazão volumétrica. Funciona com líquidos, lamas e materiais a granel de até 12 m, faixa de medição de 200 a 6.000 mm, conexão ao processo de 2 polegadas rosca padrão *National Pipe Thread* (NPT), conexão elétrica 1 prensa cabo de 1/2 polegada NPT, comunicação de 4 a 20 mA (SIEMENS, 2024h). Foram utilizados quatro transmissores de nível tipo ultrassônico para controle de nível dos tanques de ácido fluorídrico, ácido sulfúrico, água e solução ácida.

Materiais elétricos diversos

Para montagem do sistema foram utilizados também materiais elétricos de uso corriqueiro como cabos elétricos, fontes de alimentação, bornes de conexão, etc.

DESENVOLVIMENTO

Nesta seção será descrito todo o processo de desenvolvimento realizado para a construção do sistema de automação de dosagem de produtos químicos perigosos para processo de lixívia de grafite, o qual inclui descritivo funcional do sistema, instrumentação, lógica de CLP e IHM.

Descritivo funcional do sistema

Para pleno entendimento da lógica de funcionamento do sistema, foi elaborado um descritivo funcional explicando como o sistema deverá se comportar mediante interação com o operador por meio da IHM. Foram nomeados por *tags* todos os dispositivos de campo, definidos quais dispositivos em campo as saídas e entradas digitais e analógicas interagem, e qual comportamento do sistema deverá ser esperado por essa interação em cada etapa.

Definições das tags

Para entendimento do processo e identificação dos dispositivos na programação, os mesmos foram nomeados conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tags e Descrições

Tag	Descrição
FV01	Válvula de água do TQ01 para tanque de mistura TQ04
FV02	Válvula de ácido sulfúrico do TQ02 para tanque de mistura TQ04
FV03	Válvula de ácido fluorídrico do TQ03 para tanque de mistura TQ04
FV04	Válvula de solução do TQ04 para tanque de solução TQ05
FV05	Válvula de solução do TQ04 para tanque de solução TQ06
LS_TQ01	Sensor de nível do tanque de água - TQ01
LS_TQ02	Sensor de nível do tanque de H ₂ SO ₄ - TQ02
LS_TQ03	Sensor de nível do tanque de HF - TQ03
LS_TQ05	Sensor de nível do tanque de solução ácida - TQ05
LS_TQ06	Sensor de nível do tanque de solução ácida - TQ06
TQ01	Tanque de água
TQ02	Tanque de ácido sulfúrico
TQ03	Tanque de ácido fluorídrico
TQ04	Tanque de mistura/dosagem
TQ05	Tanque de solução ácida
TQ06	Tanque de solução ácida
WS_TQ04	Sensor de pesagem tanque de dosagem - TQ04

Modos de operação do sistema

O sistema de dosagem opera nos modos manual e automático, sendo descritos nas seções seguintes.

Modo manual

Operando em modo manual, o operador deve conseguir efetuar manobras de abertura em quaisquer das válvulas do sistema, sendo ele o responsável pelo controle da quantidade de cada produto e pela abertura/fechamento das válvulas. Neste modo de operação, o sistema deve oferecer alarmes de possíveis falhas de abertura/fechamento das válvulas.

Modo automático

Operando em modo automático, o operador deverá optar pelos ciclos único ou contínuo. No ciclo único, o sistema executará apenas uma batelada de dosagem. No modo contínuo, o sistema executará dosagens sempre que houver disponibilidade em algum dos tanques de solução. Excetuando-se essa diferença, a sequência de dosagem para os dois ciclos segue os mesmos passos conforme abaixo.

1. O operador seleciona o modo automático e o tipo de ciclo de dosagem.
2. O operador informa a massa de solução que deseja preparar (em kg).
3. O operador informa a porcentagem de água, H₂SO₄ e HF na solução (em %).
4. Não havendo botão de emergência acionado, o sistema irá calcular o peso de cada solução.

Se o modo automático e ciclo único forem selecionados, o operador deverá apertar o botão

"INICIAR": Se o modo automático e ciclo contínuo forem selecionados, o sistema iniciará automaticamente e deverá dosar em sequência, sempre um insumo por vez: água, H₂SO₄ e HF.

5. O sistema abrirá apenas uma válvula por vez, respeitando a sequência de etapas para abertura: etapa 1 abre FV01, etapa 2 abre FV02, etapa 3 abre FV03, etapa 4 abre FV04 ou FV05. Lembrando que os insumos fluirão de um tanque para outro por gravidade.

6. A válvula correspondente a cada etapa permanecerá aberta até que a célula de carga envie uma referência de peso igual ou maior que o peso referente à quantidade de insumo desejado para aquela etapa, mais o peso do insumo da etapa anterior, se for o caso.

7. Finalizando a dosagem de cada insumo e atingido o peso total da solução, o sistema deve registrar os dados quantitativos da dosagem e transferir toda a solução para os tanques TQ05 ou TQ06, o que estiver disponível. Se nenhum estiver disponível, o sistema aguardará até que algum esteja. Se ambos estiverem disponíveis, a solução deve ser transferida para o tanque com menor nível.

8. Finalizando a etapa de transferência de solução, o tanque de dosagem estará disponível para uma nova batelada. Então, o sistema voltará a ficar disponível para iniciar caso esteja em ciclo único ou iniciará automaticamente uma nova dosagem caso esteja no ciclo contínuo.

9. Durante quaisquer das etapas da dosagem o sistema deve permitir pausar a execução, retomando do ponto de onde parou.

10. Durante todas as etapas do modo automático, o sistema monitorará possíveis falhas de abertura/fechamento de válvulas e gerará alarmes de níveis baixos ou altos dos tanques, mediante parametrização de nível mínimo e máximo para alarme de cada um.

Instrumentação

Para medição dos níveis dos tanques de água, HF, H₂SO₄ e solução ácida foram utilizados os transmissores de nível SITRANS Probe LU240 Siemens que enviam sinal de 4 a 20 mA para as entradas analógicas do CLP e então, por meio de lógica, convertido para valores na faixa de 0 a 100%. De forma semelhante, no tanque de dosagem a célula de carga tipo H para até 20.000 kg transmite um sinal elétrico para o módulo de pesagem que por sua vez enviará um sinal de corrente na faixa de 4 a 20 mA para a entrada analógica do CLP que será convertido para um valor de pesagem de 0 a 20.000 kg. As válvulas de campo são acionadas, mediante lógica elaborada com base no descritivo funcional do sistema, por meio das saídas digitais do CLP e os sinais de aberto ou fechado de cada uma é enviado para as entradas analógicas do CLP.

Lógica de CLP em ladder e diagrama de blocos de função

Com o descritivo funcional do sistema e todas as entradas e saídas digitais e analógicas alinhadas com seus propósitos, foi elaborado o programa de CLP utilizando o software TIA Portal V17 trabalhando com lógica ladder e diagrama de blocos de função, além de elaborar estruturas de dados e blocos de funções para otimizar a lógica visando o reaproveitamento de código.

Configuração de hardware

Nesta etapa, foi criado um novo projeto no TIA Portal e incluída a configuração de hardware da CPU 1214C DC/DC/DC, dois módulos de 16 entradas digitais, dois módulos de 16 saídas digitais, dois módulos de 4 entradas analógicas e dois módulos de 4 saídas analógicas. A Figura 1 apresenta a disposição do hardware no rack do projeto.

Figura 1: Configuração de hardware Tia portal.

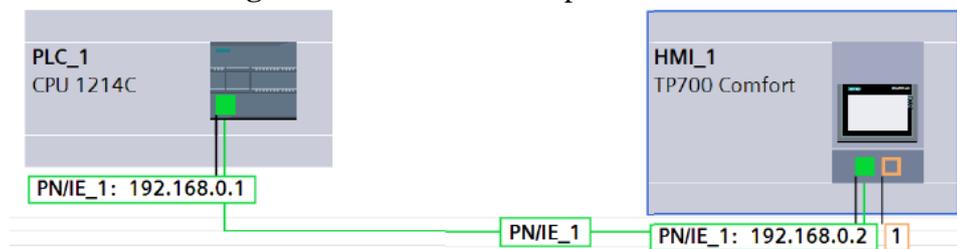


Fonte: Elaborado pelos autores.

Inclusão de IHM e conexão em rede Profinet

Nesta etapa, foi incluída a IHM TP700 Comfort, conectada à CPU 1214C por meio da rede Profinet. A Figura 2 mostra a disposição da rede.

Figura 2: Conexão dos dispositivos em rede Profinet.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Criação de tipos de dados

Foram criados os tipos de dados REGISTRO_DOSAGEM, TANQUES e VALVULA_RETORNO. O REGISTRO_DOSAGEM é utilizado para a instanciação de registros dos quantitativos das dosagens. O tipo TANQUES é usado para a instanciação de cada tanque e operações de cálculo de volume e peso dos tanques de armazenamento do processo. Enquanto VALVULA_RETORNO é aplicado para a instanciação de grupos de comandos para as válvulas do processo.

Criação de blocos de função (FB)

Também foram desenvolvidos blocos de função (FB) reutilizáveis chamados SCALE, FB_TANQUES e FB_VALVULAS.

Bloco de função SCALE

O bloco SCALE recebe um valor entre 0 e 27648 (entrada analógica 4-20 mA convertido para um valor discreto) e o converte para qualquer outra escala desejada. No caso, como a aplicação é a leitura do nível dos tanques, é convertido para uma faixa de 0 a % 100.

Bloco de função FB_TANQUES

O bloco FB_TANQUES recebe a capacidade e o nível do tanque a que se refere e o peso do produto armazenado, retornando à quantidade atual em litros e quilogramas.

Bloco de função FB_VALVULAS

O bloco FB_VALVULAS recebe os comandos abrir, fechar, rearmar e os sinais de aberto ou fechado e retorna a saída para atuar (abrir) a válvula e status em um inteiro.

Criação de DBs para desenvolvimento do programa

Base de dados DB_IO

Foi criada uma base de dados do tipo DB, de nome DB_IO, para o espelhamento das entradas e saídas digitais e analógicas físicas, destinada a uma tabela digital que recebe e envia os valores para as entradas e saídas físicas da CPU e dos módulos de entradas e saídas.

Base de dados DB_COMANDOS

Foi criada a DB_COMANDOS que contém diversas variáveis relacionadas ao modo de controle do sistema, tipo de ciclo, abertura e fechamento de válvulas em modo automático, etc.

Base de dados DB_PARAMETROS

A DB_PARAMETROS foi criada para alocar variáveis de *setpoints* do processo de dosagem, por exemplo a quantidade desejada de solução ácida, a porcentagem de água, o nível mínimo e máximo para gerar algum alarme, etc.

Base de dados DB_TANQUES

Com o objetivo de realizar operações com instâncias do bloco de função FB_TANQUES, foi criado o DB_TANQUES com instâncias do tipo de dado TANQUE em um *array*.

Base de dados DB_VALVULAS

A DB_VALVULAS foi criada para instanciar o tipo de dado VALVULA_RETORNO que contém todos os comandos necessários para operar com instâncias do bloco de função FB_VALVULAS.

Base de dados DB_DADOS_DOSAGEM

Para armazenamento dos dados de cada operação de dosagem foi criada a DB_DADOS_DOSAGEM que contém um *array* de instâncias do tipo REGISTRO_DOSAGEM.

Base de dados DB_ALARMES_FALHAS

Para auxiliar nas funções de diagnóstico de falhas e alarmes, foi criado o DB_ALARMES_FALHAS, contendo duas *structs* com variáveis do tipo *Word*: uma *struct* para alarmes e outra para falhas. Cada falha ou alarme que ocorrer no processo ativará um *bit* nestas *words*, que por sua vez ativará uma mensagem na IHM.

Desenvolvimento das funções do CLP

Aqui, descrevemos o desenvolvimento de cada função do sistema e como cada uma se envolve no processo.

Função FC_DI

A função FC_DI é responsável pelo espelhamento dos endereços das entradas digitais da tabela de endereços físicos para a DB_IO.

Função FC_DO

A função FC_DO é responsável pelo espelhamento dos endereços das saídas digitais da tabela de endereços físicos para a DB_IO.

Função FC_AI

A função FC_AI, por meio de instâncias do bloco de função FC_SCALE, faz o escalonamento das entradas analógicas na faixa de nível de 0 a 100% para os tanques de insumo e solução e de 0 a 20.000 kg para o tanque de dosagem, espelhando esse valor escalonado na DB_IO.

Função FC_VALVULAS

A função FC_VALVULAS, por meio de instâncias do bloco de função FB_VALVULAS, permite o acionamento das cinco válvulas envolvidas no processo, tanto em modo manual quanto em modo automático.

Função FC_TANQUES

A função FC_TANQUES, por meio de instâncias do bloco de função FB_TANQUES, recebe o nível e a capacidade dos tanques, permitindo calcular o volume contido neles e, quando o insumo ainda não está misturado, também o peso.

Função FC_AUTOMATICO

A função FC_AUTOMATICO permite a seleção dos modos de operação manual e automático, bem como a seleção de ciclo único ou contínuo. Ela recebe o percentual de cada insumo na mistura e o converte para valores em peso a serem comparados no momento da dosagem, para as operações de abertura e fechamento das válvulas em modo automático, conforme necessário. Essa função também salva os dados da dosagem na DB_DADOS_DOSAGEM.

Função FC_EMERGENCIA

A função FC_EMERGENCIA recebe um sinal sempre verdadeiro proveniente do contato fechado de um botão de emergência em campo. Caso este seja acionado, o contato abre e a emergência é acionada, parando todo o sistema e fechando todas as válvulas como medida de segurança.

Função FC_ALARMES_FALHAS

A função FC_ALARMES_FALHAS é responsável por verificar se há alguma falha ou alarme na operação do sistema e, caso haja, definir os bits respectivos de cada falha na DB_ALARMES_FALHAS. Esta, por sua vez, se comunica com a IHM e ativa as mensagens para visualização do operador.

Função FC_PARAMETROS

A função FC_PARAMETROS tem por finalidade garantir que a quantidade desejada de solução não ultrapasse 20.000 kg, que a soma da porcentagem dos insumos para a solução não ultrapasse 100%, além de garantir que os demais *setpoints* estejam dentro da faixa esperada, impedindo assim que o operador insira informações fora do esperado pelo sistema.

IHM

Tendo finalizado a programação do CLP e estabelecida a comunicação com a IHM TP700 Comfort 7" por meio da rede Profinet, foram elaboradas as telas de supervisão do sistema. Essas telas indicam os status do sistema, como níveis de tanques e posições de válvulas, uma tela de operação onde o operador informa se deseja que o sistema opere em modo manual ou automático, efetuando ciclos de dosagem únicos ou contínuos. O operador também informa a quantidade de solução que deseja preparar (em kg) e a quantidade (em porcentagem) de cada produto da mistura. Há também uma tela de alarmes e erros do sistema, onde são indicadas, por

exemplo, falhas na abertura ou fechamento de uma válvula ou nível baixo em algum dos tanques, entre outros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção serão apresentados os resultados alcançados ao desenvolver e simular a lógica de CLP que permite a aquisição de dados confiáveis por meio dos sensores em campo, além de executar funções que garantem a operação segura e sem falhas do processo de preparação de solução ácida. Também serão apresentadas as telas de IHM.

Tela menu

Foi desenvolvida a tela de menu tipo *slidescreen*, composta por botões que permitem navegar para qualquer uma das demais telas. A Figura 3 mostra a tela desenvolvida.

Figura 3: Tela menu.

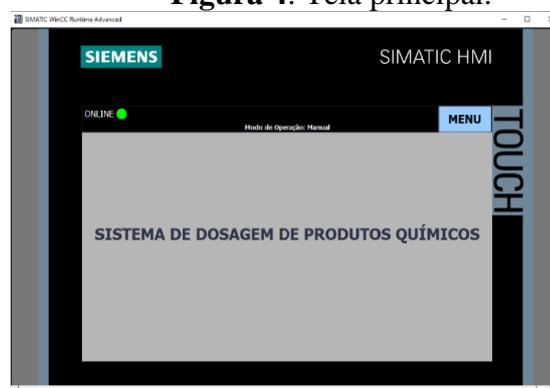


Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela principal

A tela principal é a tela de abertura da IHM e possui o título do sistema. A Figura 4 mostra a tela desenvolvida.

Figura 4: Tela principal.



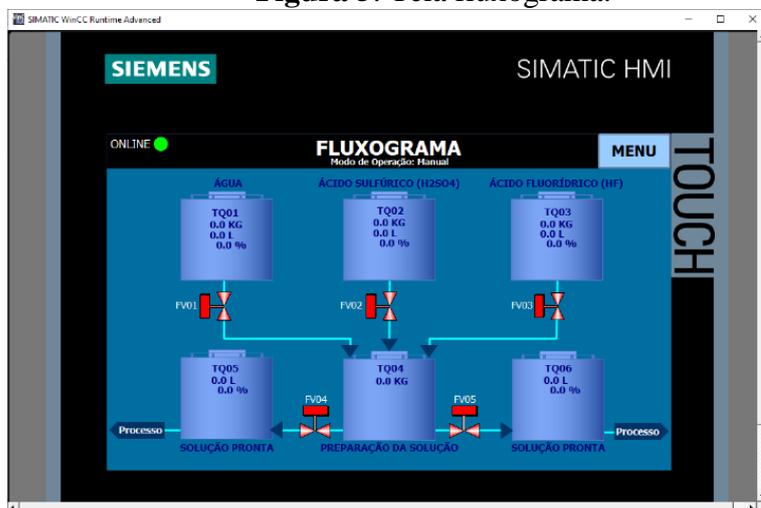
Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela fluxograma

A tela de fluxograma apresenta uma disposição que se assemelha à montagem física do sistema (um sinóptico), onde se pode visualizar as variáveis do processo, como níveis e status

dos dispositivos em campo. Essa tela também permite, ao clicar nos ícones das válvulas, abrir suas respectivas telas de comando. A Figura 5 mostra a tela desenvolvida.

Figura 5: Tela fluxograma.

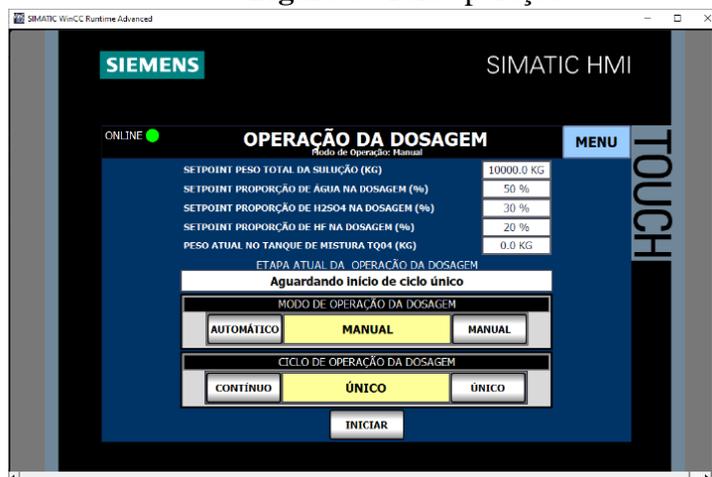


Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela operação

A tela de operação permite a inserção da quantidade de solução desejada e a porcentagem requerida de água, ácido sulfúrico e ácido fluorídrico, além de visualizar o peso atual no tanque de dosagem. Nela, é possível selecionar o modo de operação do sistema e o tipo de ciclo desejado, além de iniciar, pausar e continuar o ciclo, vide na Figura 6.

Figura 6: Tela operação.

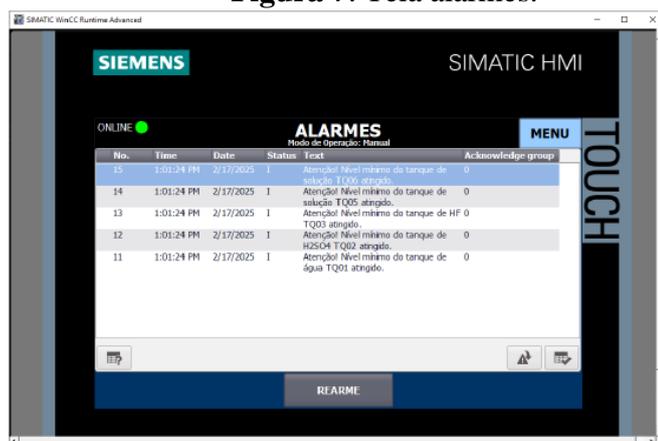


Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela alarmes

A tela de alarmes foi desenvolvida para permitir a visualização de mensagens de alarmes e falhas do sistema, de maneira que, por meio das mensagens, possa direcionar o operador ou o pessoal de manutenção na solução dos problemas, como mostrado na Figura 7.

Figura 7: Tela alarmes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela manual

Na Figura 8 mostra como foi desenvolvida uma tela que permite a operação manual do sistema, como, por exemplo, comandar uma válvula em modo manual.

Figura 8: Tela manual.

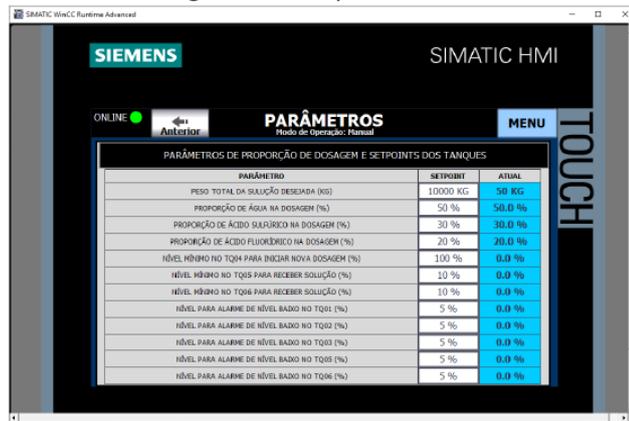


Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela parâmetros

Foi desenvolvida a tela de parâmetros onde o operador insere e visualiza os parâmetros de *setpoints* do sistema, por exemplo, o nível mínimo para alarme de um tanque, veja a Figura 9.

Figura 9: Tela parâmetros.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela histórico

Foi desenvolvida a tela de histórico que permite visualizar os dados históricos das últimas dosagens efetuadas pelo sistema. A Figura 10 mostra a tela desenvolvida.

Figura 10: Tela histórico.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela diagnóstico

A Figura 11, exibe a tela de diagnóstico que permite monitorar as condições do hardware do CLP, como falhas de conexão de algum módulo, por exemplo.

Figura 11: Tela diagnóstico.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela de comando *pop-up*

Foram desenvolvidas telas de comando tipo *pop-up*, que são abertas ao clicar sobre o ícone de cada válvula na tela de fluxograma. A Figura 12 mostra a tela desenvolvida.

Figura 12: Tela *pop-up*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tela *login*

A Figura 13 mostra a tela de login tipo *pop-up* aparecerá sempre que o operador tentar alterar algum parâmetro protegido do sistema. Isso torna a operação mais segura e limitada somente ao pessoal autorizado.

Figura 13: Tela login.

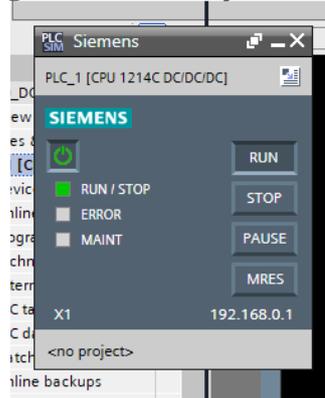


Fonte: Elaborado pelos autores.

Simulação da operação

Para a simulação da operação, foi utilizada a ferramenta de simulação de PLC do TIA Portal, o PLCSim. Essa ferramenta permitiu emular o hardware configurado no projeto, além de simular as entradas e saídas digitais e analógicas. A Figura 14 mostra a ferramenta em execução após o download do hardware e software para o mesmo.

Figura 14: Simulação com PLCSim.

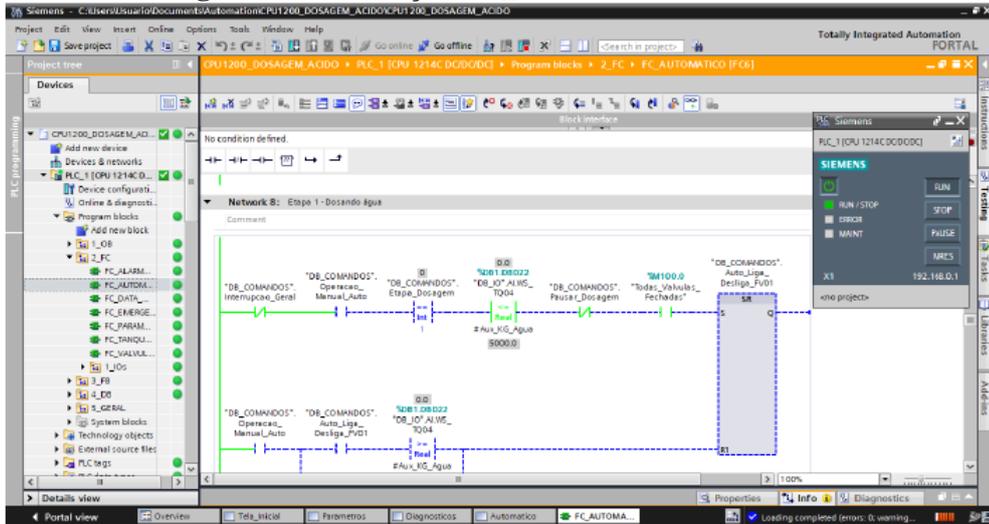


Fonte: Elaborado pelos autores.

Simulação do programa do CLP

A lógica do CLP foi simulada utilizando o PLCSim, o que permitiu acompanhar o comportamento da lógica e da IHM enquanto o sistema operava. A Figura 15 mostra a FC_AUTOMATICO em execução por meio do PLCSim.

Figura 15: Simulação FC_AUTOMATICO com PLCSim.

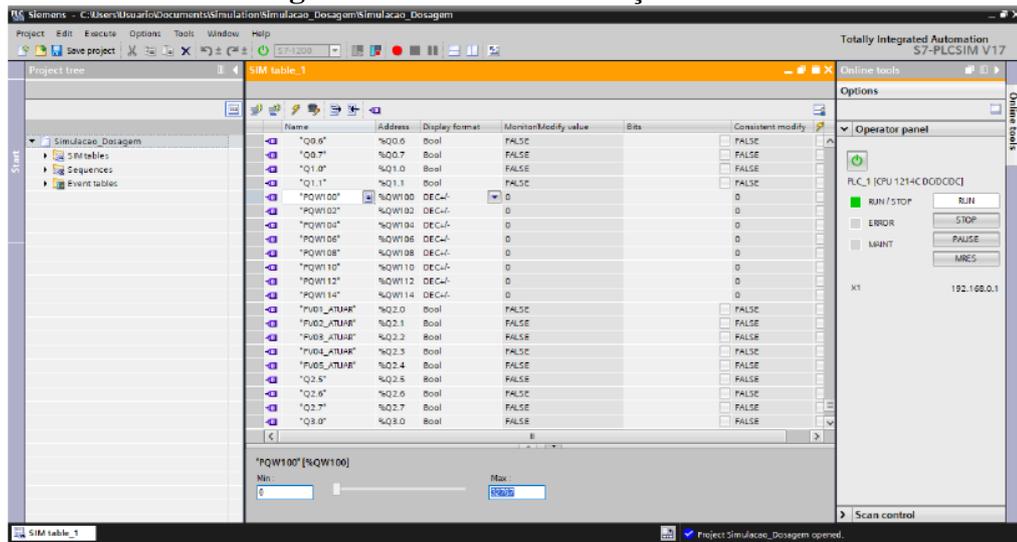


Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela de simulação PLCSim

Foi criada uma tabela de simulação no PLCSim que permite simular todas as variáveis do programa do CLP, como, por exemplo, a entrada digital que sinaliza uma válvula aberta ou fechada, o valor de uma entrada analógica que recebe o sinal do sensor de nível em campo, etc. Esta tabela permite simular as ações das válvulas ao abrir e fechar, a variação dos níveis dos tanques e o peso no tanque de dosagem, entre outros. A Figura 16 mostra a tabela simulando a entrada analógica do sensor de nível do TQ01 e suas demais variáveis simuláveis.

Figura 16: Tabela de simulação com PLCSim.



Fonte: Elaborado pelos autores.

CONCLUSÃO

No contexto industrial, a manipulação de produtos químicos corrosivos e tóxicos representa um alto risco devido aos seus efeitos adversos à saúde e ao potencial de causar situações de risco de vida. A automação desse processo surge como uma solução eficaz para minimizar esses riscos, promovendo maior segurança e eficiência nas operações industriais.

O presente trabalho conseguiu automatizar o processo de dosagem de produtos químicos e preparação de solução ácida para uso na lixívia de grafite nas empresas de beneficiamento de minério que utilizam essa técnica, com o intuito de evitar o contato direto de pessoas com esses produtos e, assim, reduzir os riscos de acidentes. Foram aplicadas técnicas de automação industrial avançadas, como a criação de um descritivo funcional detalhado, especificando o comportamento esperado do sistema e a interação com o operador via Interface Homem-Máquina (IHM), além da identificação de todos os dispositivos de campo. A instrumentação utilizou transmissores de nível e células de carga para enviar dados ao Controlador Lógico Programável (CLP), que converteu esses sinais em valores úteis. As válvulas de campo foram controladas pelas saídas digitais do CLP, com feedback de posição, assegurando a correta execução das tarefas.

A programação do CLP foi realizada utilizando o software TIA Portal V17, empregando lógica ladder e diagrama de blocos de função para otimizar o código e garantir a reutilização de funções. As telas da IHM, modelo TP700 Comfort 7" Siemens, foram projetadas para exibir de forma clara e intuitiva o status dos tanques e válvulas, modos de operação e alarmes, facilitando a operação pelo usuário e promovendo a rápida identificação de eventuais problemas.

Com este trabalho, foi possível desenvolver e simular a lógica do CLP para a aquisição de dados e execução de funções que garantem a operação segura do processo de preparação de solução ácida. Além disso, as telas de IHM desenvolvidas foram intuitivas e de fácil compreensão, proporcionando uma operação facilitada para o usuário. Por fim, concluiu-se que a automação do processo permitiu eliminar a necessidade de operação manual das válvulas na preparação de solução ácida, reduzindo significativamente a exposição dos operadores aos riscos inerentes à manipulação direta de produtos químicos perigosos.

Espera-se que este trabalho contribua para a disseminação e aplicação de tecnologias de automação industrial em processos que envolvem produtos químicos perigosos, promovendo maior segurança e eficiência. A implementação dessas tecnologias não apenas protege a saúde

dos operadores, mas também melhora a qualidade e a consistência das operações industriais. Para trabalhos futuros, recomenda-se a continuidade do desenvolvimento com foco na otimização e ampliação do sistema, incorporando novas tecnologias e metodologias que possam ainda mais aprimorar a segurança e eficiência do processo.

REFERÊNCIAS

AERODINÂMICA. **Aerodinâmica – Válv. Borboleta Pneumática PP – Tubulações Termoplásticas Industriais**. 2024. Disponível em: <https://www.aerodinamica.com/valvulas-atuadas-pneumaticas-e-eletricas/valvula-borboleta-pneumatica-pp>. Acesso em: 13 maio 2024.

ALFA. **H e HX - Alfa Instrumentos**. 2024. Disponível em: <https://www.alfainstrumentos.com.br/produto/h-e-hx/>. Acesso em: 13 maio 2024.

ALFA. **Indicadores de Pesagem - Linha 3100 C - Inox IP69K - Alfa Instrumentos**. 2024. Disponível em: <https://www.alfainstrumentos.com.br/produto/indicadores-de-pesagem-linha-3100-c-inox-ip-69k/>. Acesso em: 13 maio 2024.

ALVES, E. N. **Gestão de risco de acidentes industriais com produtos químicos perigosos integrada ao planejamento territorial: Um olhar para o polo petroquímico do ABC Paulista**. 2020.

GROOVER, M. **Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing**. Pearson, 2019. ISBN 9780134605463. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=utzSswEACAAJ>.

LIMA, L. H. F. et al. **Riscos e avarias no manuseio de produtos perigosos: Estudo de caso em uma empresa com foco em segmento químico**. Engenharia de Produção: Tecnologia e Inovação no Setor Produtivo, Editora Científica Digital, v. 1, n. 1, p. 375–386, 2020.

OLIVEIRA, Y. S. L. de. **Indústria química 4.0 em perspectivas e aplicações: uma revisão da literatura**. 2020. Universidade Federal da Paraíba.

PHOENIX. **PLC-RSC-24DC/21 - Módulo de relé - 2966171 | Phoenix Contact**. 2024. Disponível em: <https://www.phoenixcontact.com/pt-br/produtos/modulo-de--plc-rsc-24dc-21-2966171>. Acesso em: 12 maio 2024.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. [S.l.]: Editora Feevale, 2013.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/PT/Catalog/Product/?mlfb=6ES7214-1AG40-0XB0&SiepCountryCode=PT>. Acesso em: 12 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/pt/Catalog/Product/6ES7221-1BH32-0XB0>. Acesso em: 12 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/PT/Catalog/Product/?mlfb=6ES7222-1BH32-0XB0&SiepCountryCode=PT>. Acesso em: 12 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/PT/Catalog/Product/?mlfb=6ES7231-5ND32-0XB0&SiepCountryCode=PT>. Acesso em: 12 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/PT/Catalog/Product/?mlfb=6ES7232-4HD32-0XB0&SiepCountryCode=PT>. Acesso em: 12 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens Portugal**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/pt/PT/Catalog/Product/6GK5005-0BA00-1AB2>. Acesso em: 23 jun. 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens WW**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6AV2124-0GC01-0AX0>. Acesso em: 13 maio 2024.

SIEMENS. **Detalhes do produto - Industry Mall - Siemens WW**. 2024. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=7ML51..-.....-&SiepCountryCode=WW>. Acesso em: 13 maio 2024.

SIEMENS. **TIA Portal Siemens - Software SIMATIC da Siemens**. 2024. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/produtos/software/industria/automacao/tia-portal.html>. Acesso em: 28 abr. 2024.

SILVA, I. G.; SOBRAL, L. G. S. **Pré-requisitos para a bio-extração eficiente de cobre a partir de rejeito de minério intemperizado**. CETEM/MCTI, 2021.