

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA MICROERVEJARIAS

Denner Henrique Egger Rodrigues¹, Talis Piovesan (orientador)²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Panambi – RS, Brasil
e-mail: denner.2020018294@aluno.iffar.edu.br, talis.piovesan@iffarroupilha.edu.br

Resumo - Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para microcervejarias, visando o controle e a monitorização das etapas de mosturação, filtração, fervura e resfriamento do processo produtivo da cerveja, com foco na padronização da qualidade e redução da intervenção humana. O sistema utiliza um Controlador Lógico Programável (CLP) integrado a uma Interface Homem-Máquina (IHM), permitindo a automação do controle de variáveis críticas como tempo e temperatura. O projeto contemplou a elaboração do diagrama elétrico, a programação do CLP e o desenvolvimento de telas interativas na IHM, possibilitando ao operador visualizar em tempo real as etapas do processo e ajustar parâmetros conforme a receita. A instrumentação incluiu sensores de temperatura e nível, válvulas solenóides, bombas de recirculação e resistores. Os testes de simulação demonstraram a eficácia do sistema em executar automaticamente as etapas propostas, proporcionando maior eficiência e segurança operacional. Como resultado, observou-se a viabilidade técnica e econômica da automação parcial para microcervejarias, especialmente aquelas com limitações de escala produtiva. O sistema contribui para a padronização do produto final e para a otimização do processo produtivo, evidenciando o potencial da automação industrial no setor cervejeiro artesanal.

Palavras-Chave – Automação Industrial, Controle, Instrumentação, Microcervejaria, Sensores.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATION SYSTEM FOR MICROBREWERY

Abstract – This work presents the development of an automated system for microbreweries, aimed at controlling and monitoring the stages of mashing, clarification, boiling, and cooling in the beer production process, with a focus on quality standardization and reducing human intervention. The system employs a Programmable Logic Controller (PLC) integrated with a Human-Machine Interface (HMI), enabling automated control of critical variables such as time and temperature. The project included the design of the electrical diagram, PLC programming, and the development of interactive screens on the HMI, allowing the operator to visualize the process stages in real time and adjust parameters according to the recipe. The instrumentation comprised temperature and level sensors, solenoid valves,

recirculation pumps, and electric resistor. Simulation tests demonstrated the system's effectiveness in automatically executing the proposed stages, providing greater efficiency and operational safety. As a result, the technical and economic feasibility of partial automation for microbreweries was verified, particularly for those with limited production scales. The system contributes to the standardization of the final product and the optimization of the production process, highlighting the potential of industrial automation in the artisanal brewing sector.

Keywords – Industrial Automation, Control, Instrumentation, Microbrewery, Sensors.

NOMENCLATURA

%	Símbolo percentual.
°C	Temperatura dada em graus celsius.
V	Unidade de tensão expressa em volts.
mA	Unidade de corrente expressa em miliampère.
mm	Medida de comprimento expressa em milímetro.
W	Unidade de potência expressa em Watt.
A	Unidade de corrente expressa em ampère
IHM	Interface homem máquina.
CLP	Controlador lógico programável.

I. INTRODUÇÃO

As cervejarias brasileiras têm um papel importante na economia do país [1]. Somente em 2023, houve um aumento de 18,6% no volume de cerveja exportada, o que repercutiu positivamente no valor total das exportações do país, pois o faturamento gerado representou um crescimento de 28,8% em relação ao montante faturado no ano de 2022 [1].

Desde o ano 2000, o número de cervejarias registradas no país só aumentou e, ainda em 2023, esse crescimento representou 6,8% em relação ao ano anterior [1]. O Rio Grande do Sul foi o estado que apresentou o maior aumento absoluto no número de estabelecimentos registrados, apresentando um acréscimo de 25 novas cervejarias [1].

Por definição, cerveja é a bebida resultante da fermentação a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo [2]. Registros históricos demonstram que a bebida tenha surgido a cerca de 6000 a. C (anos antes de Cristo) [3].

No Brasil, foram as colônias europeias que difundiram o consumo da bebida, sendo que o primeiro documento

conhecido que anunciou a venda de cerveja brasileira é datado de 1836 [3].

Entre os anos de 1870 e 1880 foram fundadas duas empresas, a Companhia Cervejaria Brahma e a Antarctica Paulista, que posteriormente se uniram tornando-se a Companhia de Bebidas das Américas Ambev, que atualmente pertence a Anheuser-Busch InBev [3]. A Anheuser-Busch InBev (também conhecida como AB InBev) é a maior cervejaria do mundo, detendo o maior número de marcas registradas [3].

Entretanto, as microcervejarias têm uma grande vantagem em relação às grandes fábricas, pois, como sua produção se limita a fabricar pequenas quantidades de cerveja, há a possibilidade de produzir os mais variados tipos e estilos da bebida, vantagem essa que tem despertado cada vez mais o interesse do consumidor [4]. Nesse contexto, a norma regente do estado do Rio Grande do Sul define como microcervejaria a instalação artesanal que produz até 200 mil litros de cerveja por mês, ou até 5 milhões de litros de cerveja por ano [5].

Existem diversos estilos de cerveja que diferem entre si quanto ao modo de condução do processo produtivo e aos ingredientes utilizados. No entanto, de forma geral, há etapas que devem ser seguidas para a obtenção do produto final. Essas etapas incluem os processos de maltação, torrefação, moagem, mosturação, filtração, fervura, fermentação, maturação, nova filtração, pasteurização, carbonatação e envase, nessa ordem [6].

Tendo em vista as etapas existentes para a fabricação de cerveja, o controle rigoroso das variáveis do processo é imprescindível, já que a qualidade do produto final depende diretamente da forma como cada procedimento é conduzido.

Nesse sentido, uma ferramenta que facilite a produção de cerveja mostra-se altamente conveniente, uma vez que a administração manual de todas as etapas do processo pode se tornar exaustiva e complexa. Ademais, a reprodução consistente de um mesmo produto torna-se extremamente difícil na ausência de mecanismos de controle. Dessa forma, a automação surge como uma importante aliada na condução dos processos produtivos, visto que um sistema devidamente controlado possibilita uma operação mais econômica, eficiente e segura.

Ainda, o correto dimensionamento dos equipamentos de acionamento, sensoriamento e controle é fundamental para garantir o funcionamento ideal de toda a produção. Dessa forma, propõe-se projetar um sistema automatizado, voltado para microcervejarias, capaz de auxiliar o produtor cervejeiro em algumas etapas de sua produção.

O projeto baseia-se em um quadro de comando, com interface visual interativa, capaz de gerir e conduzir quatro etapas do processo de fabricação de cerveja: mosturação, filtração, fervura e resfriamento. A ordem em que ocorrem esses processos encontra-se na Fig. 1.



Fig. 1. Fluxograma dos processos controlados pelo quadro de comando.

A proposta do projeto contempla a construção do diagrama elétrico do quadro de comando, elaborado com

base nas diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 5410, que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão em sistemas com até 1000 V em corrente alternada. Essa norma é amplamente reconhecida como a principal referência técnica no Brasil para o projeto, execução e manutenção de quadros elétricos em edificações prediais, comerciais e industriais [7]. Sua aplicação é fundamental para garantir a segurança, a funcionalidade e a conformidade das instalações elétricas, estabelecendo critérios rigorosos para o dimensionamento de condutores, a escolha e instalação de dispositivos de proteção, o aterramento, o seccionamento de circuitos, a identificação dos componentes e a acessibilidade para operação e manutenção [7]. Complementarmente, também foram desenvolvidas as telas interativas que compõem a interface de operação, permitindo o controle visual e intuitivo do sistema.

Para isso, tornou-se necessário conhecer as etapas de fabricação da cerveja, bem como as variáveis envolvidas em cada processo, além da aquisição de conhecimentos técnicos sobre componentes elétricos e eletrônicos e sobre *software* e suas linguagens de programação para entendimento de como executar a interação entre CLP, IHM e *webserver*.

II. PRODUÇÃO CERVEJEIRA

Apesar das variações nos métodos de produção em função do estilo da cerveja a ser elaborado, o processo cervejeiro é, de modo geral, composto por quatro etapas principais: malteação, produção do mosto, fermentação e processamento final [8]. A malteação corresponde à germinação controlada da cevada com o objetivo de ativar enzimas essenciais [8]. Em seguida, realiza-se a produção do mosto, por meio da extração e hidrólise dos componentes da cevada malteada, com posterior separação dos sólidos e fervura do líquido em conjunto com a adição de lúpulo [8]. A terceira etapa envolve a fermentação, que se subdivide em fase primária e maturação. Por fim, procede-se ao processamento final, que abrange as etapas de filtração, estabilização e envase do produto [8].

A etapa de malteação compreende processos como a limpeza e classificação dos grãos de cevada, maceração com água e germinação das radículas. Em seguida, realiza-se a torra, na qual os grãos são submetidos à secagem em fornos com temperatura controlada entre 45 °C e 50 °C, com o objetivo de interromper a germinação e promover a caramelização dos açúcares, conferindo características específicas ao malte. Após esse processo, o malte é armazenado por cerca de 30 dias para estabilização [9].

Contudo, no contexto das microcervejarias, tanto a malteação quanto a moagem — processo no qual o malte é triturado para rompimento da casca e exposição do conteúdo interno, facilitando a extração dos compostos nas etapas seguintes — são geralmente realizadas externamente, por fornecedores especializados [9]. Dessa forma, o insumo é adquirido já maltado e moído, pronto para uso imediato na produção, o que torna a etapa de mosturação o ponto inicial efetivo do processo dentro da microcervejaria [9].

A mosturação, considerada uma das etapas mais críticas da produção cervejeira, consiste na mistura do malte moído com água sob aquecimento controlado, permitindo a

gelatinização e subsequente hidrólise do amido [10]. Essa fase exige rigoroso controle de temperatura e tempo, sendo responsável pela extração de cerca de 65% dos sólidos do malte, que dissolvidos ou suspensos, formarão o mosto [10].

Na etapa seguinte, denominada filtração, o mosto é submetido à remoção dos sólidos residuais, assegurando maior pureza ao líquido [10]. Em seguida, realiza-se a fervura do mosto, etapa em que o líquido é levado à ebulição com controle de tempo e temperatura. Essa etapa promove a inativação das enzimas, coagulação de proteínas, esterilização do mosto e isomerização dos compostos do lúpulo [10].

Dando prosseguimento, inicia-se a fermentação, dividida em duas fases: aeróbica e anaeróbica [10]. Na fase aeróbica ocorre a multiplicação celular das leveduras a partir dos açúcares fermentáveis presentes no mosto. Já na fase anaeróbica, esses açúcares são convertidos em etanol (álcool) e dióxido de carbono [10]. Essa etapa tem duração média de 6 a 9 dias, exigindo controle rigoroso da temperatura, geralmente entre 8 °C e 15 °C, a fim de garantir a qualidade sensorial e microbiológica do produto [10].

Após a fermentação, inicia-se a maturação nos tanques, etapa indispensável para a estabilização físico-química da bebida [10]. Nesse estágio, ocorrem transformações no sistema coloidal da chamada “cerveja verde”, com precipitação de proteínas, leveduras e sólidos solúveis, contribuindo para a filtração e aprimoramento das características sensoriais do produto final [11].

Antes da nona etapa, realiza-se a decantação do líquido com o objetivo de separar os sedimentos formados durante a maturação [11]. Em seguida, a cerveja passa por nova filtração para remoção de impurezas não decantadas, resultando na eliminação de turvações residuais [11]. Logo depois, ocorre a pasteurização, etapa térmica fundamental para a estabilização microbiológica da bebida e aumento de sua vida útil. Esse processo envolve o aquecimento rápido da cerveja, seguido de resfriamento controlado, sendo essencial a manutenção precisa da temperatura ao longo da operação [11].

Em determinados casos, após a pasteurização, pode-se realizar uma etapa complementar de carbonatação, com o intuito de ajustar os níveis de dióxido de carbono, conforme as características desejadas para o estilo da cerveja [11]. Finalmente, realiza-se o envase do produto, fase em que se deve evitar a perda de gás carbônico e o contato do líquido com o oxigênio atmosférico, a fim de preservar as propriedades sensoriais e a qualidade final da bebida [11].

Cada uma das etapas do processo produtivo possui suas particularidades e exigências técnicas, sendo que, em muitas delas, o controle rigoroso de temperatura e tempo é indispensável para a obtenção de um produto final com qualidade satisfatória. No entanto, controlar a temperatura utilizando apenas um termômetro pode ser uma tarefa complexa, pois exigiria a presença constante do produtor em cada etapa para garantir a manutenção das condições ideais ao longo de todo o processo. Da mesma forma, o uso de um cronômetro para o controle do tempo demandaria acompanhamento contínuo, o que impossibilitaria o produtor de realizar outras atividades simultaneamente.

Nesse contexto, a execução manual de todo o processo torna-se exaustiva e operacionalmente limitada, uma vez que exige atenção contínua durante todo o ciclo produtivo, o qual pode se estender por vários dias.

Adicionalmente, embora a automação total do processo cervejeiro proporcione ganhos em eficiência, padronização e segurança, sua aplicação em microcervejarias ainda enfrenta barreiras significativas. Estudos indicam que, em unidades de menor porte, os processos são predominantemente manuais e o uso de equipamentos de controle avançado é restrito, devido ao elevado custo de aquisição e à complexidade operacional [12]. Observa-se que grande parte das operações em microcervejarias brasileiras recorre a estratégias de automação pontual e modular, concentrando-se apenas em etapas críticas, como mosturação e resfriamento, a fim de equilibrar custo, espaço físico e retorno sobre o investimento [12]. Além disso, sistemas automatizados modulares com controle de temperatura programável apresentam monitoramento confiável e custos reduzidos em comparação aos sistemas integrados, sem comprometer a qualidade final do produto [13]. Dessa forma, a automação parcial configura-se como uma solução capaz de proporcionar padronização e confiabilidade sem onerar excessivamente a operação das microcervejarias.

Diante dessas limitações e do contexto apresentado, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema de automação mais acessível, que abrange as etapas de mosturação, filtração, fervura e resfriamento. Esse sistema tem como objetivo auxiliar o operador no controle das variáveis críticas, como temperatura e tempo, além de permitir a transição automatizada entre as etapas, otimizando o processo produtivo e reduzindo a necessidade de acompanhamento constante.

III. PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

A. Controle

O fluxograma elaborado para representar a lógica de funcionamento do sistema proposto, cuja descrição será apresentada a seguir, encontra-se na Fig. 2.

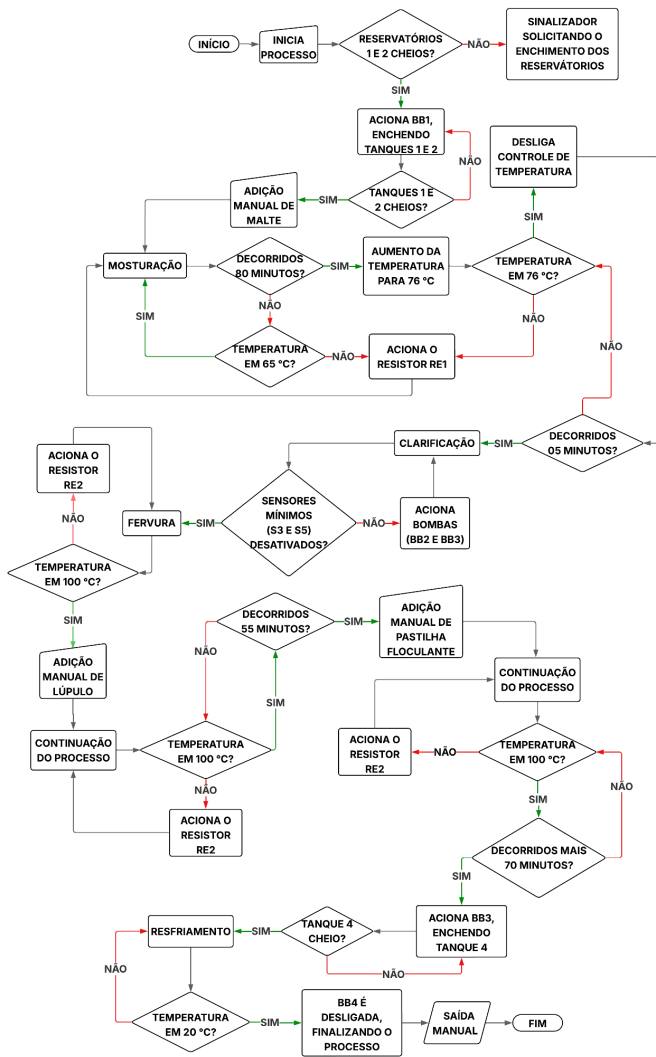


Fig. 2. Fluxograma do sistema de automação.

Para exemplificar a lógica de funcionamento do sistema, será utilizada como base uma receita de cerveja do estilo Ale (alta fermentação), com o objetivo de produzir 25 litros da bebida pronta para consumo [14].

Inicialmente, é necessário realizar a adição manual de água nos reservatórios 1 e 2, sendo que o reservatório 1 deve, obrigatoriamente, conter 38 litros. O sistema somente permitirá que o operador inicialize o processo caso o nível mínimo de ambos os reservatórios esteja adequadamente detectado. No reservatório 1, esse controle é realizado por meio de um sensor capacitivo denominado S1.

No lado externo do primeiro reservatório, encontra-se instalada uma bomba de recirculação, identificada como BB1, cuja função é succionar a água do reservatório e direcioná-la a duas válvulas solenóides distintas. O Controlador Lógico Programável (CLP), ao receber o sinal do sensor S1, aciona sequencialmente a bomba BB1, bem como as válvulas VS1 e VS2.

Essa primeira etapa tem como finalidade exclusiva a transferência da água do reservatório 1 para os tanques 1 e 2, sendo esse processo ilustrado de forma didática na Fig. 3, que apresenta as válvulas VS1 e VS2 abertas e a bomba BB1 em operação.

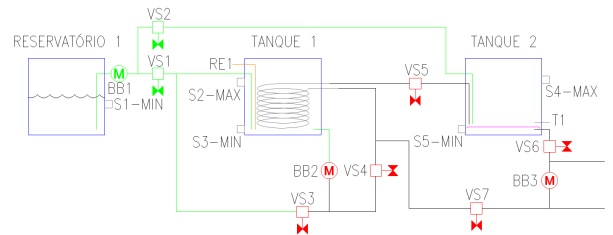


Fig. 3. Ilustração indicativa das válvulas VS1 e VS2 abertas e da bomba BB1 acionada.

A primeira válvula solenóide (VS1) direciona a água bombeada para a tanque 1, onde se localiza o resistor de aquecimento (RE1). Quando o nível máximo de água é atingido — (o que corresponde a 20 litros —, um segundo sensor capacitivo (S2) é acionado, enviando um sinal ao CLP, que, por sua vez, desliga a válvula VS1. Nessa etapa, a água tem a função de aquecer a serpentina existente no tanque 1.

Por sua vez, a segunda válvula solenóide (VS2) direciona a água bombeada para o tanque 2, onde ocorrerá a etapa de mosturação. Ao atingir o nível máximo de 18 litros, o sensor capacitivo S4 é acionado, enviando um sinal ao CLP, que desliga tanto a válvula VS2 quanto a bomba BB1. Esse estado do sistema — com as válvulas VS1 e VS2 fechadas e a bomba BB1 desligada — é ilustrado de forma didática na Fig. 4.

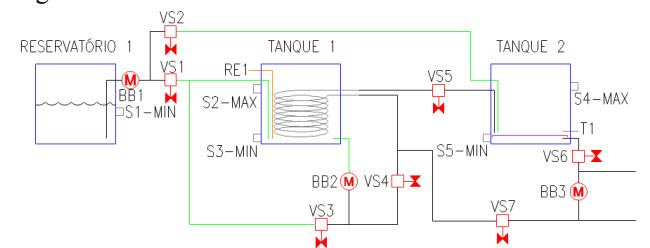


Fig. 4. Ilustração indicativa das válvulas VS1 e VS2 fechadas e da bomba BB1 desligada.

Antes de iniciar o processo de mosturação, o malte deve ser adicionado manualmente no tanque 2, seguindo a proporção de 5 quilogramas de malte Pilsen BWS.

Com o objetivo de facilitar a compreensão das variáveis envolvidas nesta etapa inicial, apresenta-se a Tabela I.

TABELA I

Variáveis Controladas na Etapa Inicial		
Identificação	Tipo de Componente	Descrição/Função
S1	Sensor capacitivo	Detecta nível mínimo no reservatório 1
BB1	Bomba de recirculação	Succiona água do reservatório 1 e direciona às válvulas VS1 e VS2
VS1	Válvula solenóide	Direciona água para a tanques 1
VS2	Válvula solenóide	Direciona água para a tanque 2
S2	Sensor capacitivo	Detecta nível máximo na tanque 1
S4	Sensor capacitivo	Detecta nível máximo na tanque 2
RE1	Resistor	Responsável pelo aquecimento da serpentina na tanque 1
CLP	Controlador Lógico Programável	Controla a lógica de acionamento/desligamento dos componentes com base nos sensores

1) *Mosturação*: Posteriormente à adição do malte, o produtor deve confirmar a inicialização do processo de mosturação por meio da tela da IHM (Interface Homem-Máquina). Após essa confirmação, o resistor (RE1) é acionado pelo CLP, com a finalidade de aquecer a serpentina localizada no tanque 1. Em sequência, uma segunda bomba (BB2) e uma terceira válvula solenóide (VS3) também são acionadas pelo CLP, promovendo a recirculação da água no tanque 1.

Na continuidade do processo, logo após o acionamento de VS3, outras três válvulas solenóides — VS5, VS6 e VS7 — são ativadas pelo CLP, juntamente com uma terceira bomba (BB3). Nesse arranjo, a válvula VS6 direciona a mistura de malte e água para a válvula VS7, utilizando a bomba de sucção BB3. O mosto, então, circula pela serpentina, sendo conduzido até a válvula VS5, que o redireciona de volta ao tanque 2.

Quanto ao controle de aquecimento, utiliza-se um sensor de temperatura (T1) instalado no tanque 2. Quando esse atinge a temperatura ideal de 65 °C, o sensor T1 envia um sinal ao CLP, que desliga automaticamente o resistor do tanque 1. Sempre que a temperatura no tanque 2 apresentar queda de 3% em relação ao valor configurado, o resistor é religado de forma automática.

Durante a execução do processo, a tela da IHM exibe o fluxo das etapas em tempo real, permitindo, além disso, que o operador realize os ajustes das variáveis de temperatura e duração de cada fase, as quais devem ser previamente configuradas.

Para a produção do estilo de cerveja Ale, o tempo total de mosturação deve ser de 80 minutos. Ao final desse período, o CLP permite que a temperatura do tanque 2 aumente até atingir 76 °C — fase que garante a inativação das enzimas e a redução da viscosidade do mosto. Assim que essa temperatura é alcançada, inicia-se uma nova contagem, mantendo o mosto em repouso térmico por mais 5 minutos.

Concluído o tempo total da etapa de mosturação, a bomba BB2, responsável pela recirculação de água no tanque 1, é desligada e a válvula VS3 fechada.

Em seguida, a bomba BB3, responsável pelo fluxo do mosto, também é desligada, e a válvula solenóide VS6, que permite a saída do mosto, é automaticamente fechada. A partir do desligamento da bomba BB3, o CLP inicia a contagem de tempo para desligar o resistor RE1, permitindo o retorno do mosto remanescente na serpentina do tanque 2. Após transcorridos os 15 segundos previamente configurados no programa do CLP, as válvulas VS5 e VS7 são igualmente fechadas. O processo de mosturação está ilustrado na Fig. 5.

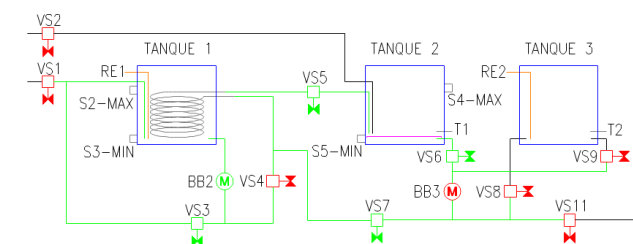


Fig. 5. Ilustração do processo de mosturação.

As variáveis controladas na etapa de mosturação estão apresentadas na Tabela II.

TABELA II		
Variáveis Controladas na Etapa de Mosturação		
Identificação	Tipo de Componente	Descrição/Função
S4	Sensor capacitivo	Detecta nível máximo no tanque 2
T1	Sensor de temperatura	Monitora temperatura da tanque 2
RE1	Resistor	Responsável pelo aquecimento da água no tanque 1
BB2	Bomba de recirculação	Succiona água quente no tanque 1 e direciona para a válvula VS3
BB3	Bomba de recirculação	Succiona o mosto do tanque 2 e direciona à válvula VS7
VS3	Válvula solenóide	Direciona a água quente para o tanque 1
VS5	Válvula solenóide	Direciona o mosto da serpentina para o tanque 2
VS6	Válvula solenóide	Direciona o mosto do tanque 2 para VS7
VS7	Válvula solenóide	Direciona o mosto para a serpentina
CLP	Controlador Lógico Programável	Controla a lógica de acionamento/desligamento dos componentes com base nos sensores

2) *Filtração*: Com o circuito desligado, tem início o processo de filtração do mosto. Para isso, as válvulas VS6 e VS8 são acionadas e a bomba BB3 é novamente ligada pelo CLP, permitindo que o mosto seja direcionado para o tanque 3.

Em seguida, quando o sensor de nível mínimo (S5) do tanque 2 é desativado, indicando que o reservatório encontra-se vazio, o CLP, ao receber esse sinal, aciona a bomba BB2 e as válvulas VS4 e VS5. A água que anteriormente era utilizada para o aquecimento da serpentina é, então, conduzida através da válvula VS4 para o interior da serpentina, com o objetivo de limpá-la, removendo o mosto residual e direcionando-o, por meio da válvula VS5, de volta para o tanque 2.

Simultaneamente, no tanque 2, à medida que a água entra no reservatório pela válvula VS5, a bomba BB3 é responsável por extrair o líquido e conduzi-lo ao tanque 3.

Posteriormente, com a desativação do sensor de nível mínimo (S3) do tanque 1, indicando que esta está vazia, as válvulas VS4 e VS5 são fechadas e a bomba BB2 é desligada.

Na sequência, ao ser novamente desativado o sensor de nível mínimo (S5) do tanque 2, confirmando a ausência de líquido, a válvula VS6 é fechada e a bomba BB3 é desligada.

No tanque 3, há um fundo falso cuja função é reter os resíduos sólidos presentes no mosto, permitindo apenas a passagem do líquido para o fundo do recipiente. O processo de filtração, conforme descrito, está ilustrado na Fig. 6.

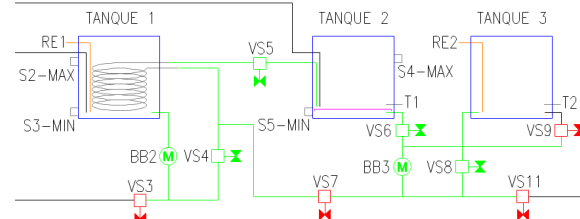


Fig. 6. Ilustração do processo de filtração.

Para melhor compreensão do processo, as variáveis controladas na etapa de filtração são apresentadas na Tabela III.

TABELA III

Variáveis Controladas na Etapa de Filtração		
Identificação	Tipo de Componente	Descrição/Função
S3	Sensor capacitivo	Detecta nível mínimo no tanque 1
S5	Sensor capacitivo	Detecta nível mínimo no tanque 2
BB2	Bomba de recirculação	Succiona água quente do tanque 1 e direciona para a válvula VS4
BB3	Bomba de recirculação	Succiona o mosto do tanque 2 e direciona à válvula VS8
VS4	Válvula solenóide	Direciona a água quente do tanque 1 para dentro da serpentina
VS5	Válvula solenóide	Direciona a água quente da serpentina para o tanque 2
VS6	Válvula solenóide	Direciona o mosto/água do tanque 2 para a válvula VS8
VS8	Válvula solenóide	Direciona o mosto do tanque 2 para o tanque 3
CLP	Controlador Lógico Programável	Controla a lógica de acionamento/desligamento dos componentes com base nos sensores

3) *Fervura*: Após o mosto ser filtrado, tem início a etapa de fervura, a qual ocorre no fundo do tanque 3. Nessa fase, o aquecimento também é realizado por meio de um resistor (RE2), cujo acionamento e controle são gerenciados pelo CLP. Assim como na mosturação, a temperatura da etapa de fervura deve ser previamente configurada na tela da IHM, de acordo com a receita da cerveja a ser produzida — neste caso, estilo Ale, com temperatura fixada em 100 °C.

Ao atingir a temperatura de ebulição (100 °C), um alerta visual é exibido na tela da IHM, lembrando o operador de adicionar manualmente o lúpulo (neste caso, 24 gramas da variedade *Spalter Select*). Após 55 minutos de fervura, um novo aviso surge na IHM, orientando o operador a adicionar uma pastilha de floculante *Whirlfloc*, cujo propósito é acelerar o processo de floculação das partículas sólidas ainda presentes no mosto, mesmo após a filtração. O tempo total da etapa de fervura é de 125 minutos.

De forma análoga ao que ocorre com o resistor RE1, o controle térmico do resistor RE2 também conta com um sensor de temperatura (T2) dedicado ao monitoramento contínuo. Quando a temperatura configurada é atingida, o sensor T2 envia um sinal ao CLP, o qual desliga automaticamente o resistor do tanque 3; contudo, essa é religada sempre que houver uma queda de 3% em relação ao valor previamente estabelecido. A etapa de fervura está ilustrada na Fig. 7.

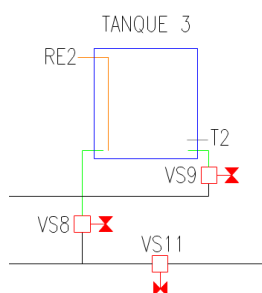


Fig. 7. Ilustração do processo de fervura.

As variáveis controladas na etapa de fervura estão apresentadas na Tabela IV.

TABELA IV

Variáveis Controladas na Etapa de Fervura		
Identificação	Tipo de Componente	Descrição/Função
T2	Sensor de temperatura	Monitora temperatura do tanque 3
RE2	Resistor	Responsável pelo aquecimento do mosto no tanque 3
CLP	Controlador Lógico Programável	Controla a lógica de acionamento/desligamento dos componentes com base nos sensores

4) *Resfriamento*: Concluída a etapa de fervura, tem início a etapa de resfriamento. Para isso, o CLP aciona as válvulas VS9 e VS11 e, simultaneamente, ativa a bomba BB3, direcionando o mosto para o tanque 4. Essa etapa do processo está representada de forma didática na Fig. 8.

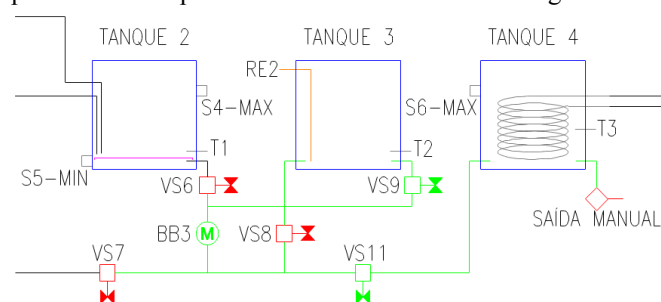


Fig. 8. Ilustração indicativa das válvulas VS9 e VS11 abertas e bomba BB3 acionada, tanque 4 enchendo.

Quando o sensor de nível máximo (S6) do tanque 4 é acionado, um sinal é enviado ao CLP, o qual desliga a bomba BB3 e, conseqüentemente, fecha as válvulas VS9 e VS11.

Dentro do tanque 4, há uma serpentina que é utilizada para transportar água gelada com o objetivo de resfriar o mosto. Para isso, o reservatório 2 é conectado a essa serpentina por meio de mangueiras.

Uma vez que os sensores de nível S6 do tanque 4 e S7 do reservatório 2 estejam acionados, o CLP ativa a bomba de circulação (BB4) e abre a válvula solenóide VS10, iniciando, assim, a circulação de água gelada pela serpentina, conforme ilustrado na Fig. 9.

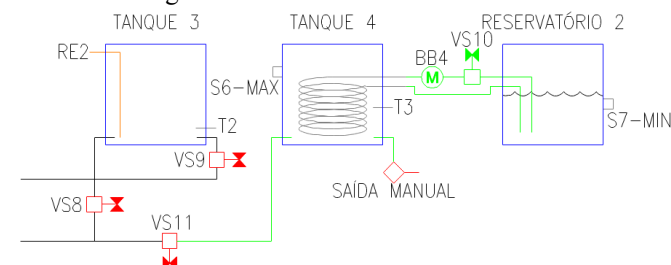


Fig. 9. Ilustração indicativa da circulação de água gelada pela serpentina.

No tanque 4, encontra-se um sensor de temperatura (T3), responsável pelo monitoramento contínuo do processo. Quando a temperatura previamente configurada (20 °C) é atingida, o CLP desliga a bomba BB4 e fecha a válvula VS10, interrompendo o fluxo de água pela serpentina. Em

seguida, uma mensagem é exibida na tela da IHM, indicando a finalização do processo.

Após essa etapa, o mosto estará pronto para o processo de fermentação e deve ser retirado manualmente do tanque 4, conforme ilustrado na Fig. 10. Essa operação permite que o operador inicie uma nova produção de mosto sem a necessidade de aguardar a conclusão da fermentação, que pode levar vários dias.

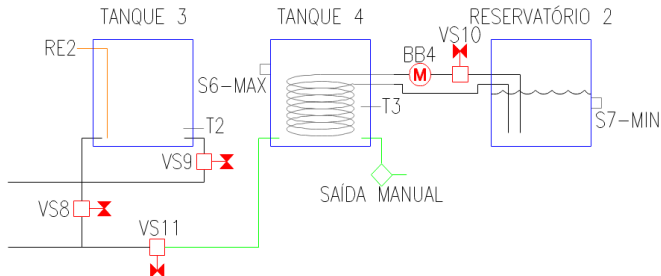


Fig. 10. Ilustração indicativa da saída manual acionada.

Visando a melhor compreensão das variáveis da etapa de resfriamento, apresenta-se a Tabela V.

TABELA V

Variáveis Controladas na Etapa de Resfriamento		
Identificação	Tipo de Componente	Descrição/Função
S6	Sensor capacitivo	Detecta nível máximo no tanque 4
S7	Sensor capacitivo	Detecta nível mínimo do reservatório 2
T3	Sensor de temperatura	Monitora temperatura do tanque 4
BB3	Bomba de recirculação	Succiona o mosto do tanque 3 através da válvula VS9
BB4	Bomba de recirculação	Succiona água gelada do reservatório 2
VS9	Válvula solenóide	Direciona o mosto do tanque 3 para a válvula VS11
VS10	Válvula solenóide	Direciona água gelada para dentro da serpentina
VS11	Válvula solenóide	Direciona o mosto para dentro do tanque 4
CLP	Controlador Lógico Programável	Controla a lógica de acionamento/desligamento dos componentes com base nos sensores

B. Instrumentação

Realizou-se um estudo com o objetivo de compreender o funcionamento e aplicabilidade de equipamentos de acionamento, sensoriamento e controle que serão necessários para a implementação do projeto.

Um sensor, por definição, é um dispositivo de entrada que converte um sinal de qualquer natureza em outro sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, permitindo que este expresse o valor da grandeza medida [15]. Além disso, os sensores podem ser classificados de acordo com o tipo de variável controlada e também com base no seu modo de funcionamento [15].

Quanto ao tipo de variável, o sensor pode ser contínuo, efetuando medições contínuas no tempo, ou discreto, apresentando somente dois estados (acionado/não acionado) [15].

Quanto ao funcionamento, o sensor pode ser auto alimentado ou com alimentação externa [15]. O sensor auto alimentado produz um sinal elétrico de saída sem a necessidade de alimentação externa, já o sensor com alimentação externa requer entrada de energia para gerar um sinal de saída [15].

1) *Sensor de nível:* Para a medição de nível, foi adotado um sensor do tipo capacitivo, uma vez que esse dispositivo permite a detecção tanto de materiais ferrosos quanto de materiais não ferrosos [15]. O modelo selecionado para a implementação do projeto foi o KQ5100, da marca IFM, do tipo PNP, que opera com tensão contínua entre 10 V e 30 V, apresenta consumo de corrente inferior a 17 mA e possui precisão de 12 mm. A imagem do sensor capacitivo utilizado pode ser observada na Fig. 11.



Fig. 11. Foto do sensor capacitivo.

2) *Sensor de temperatura:* Para os sensores de temperatura, será utilizado o modelo PT100, cujo princípio de funcionamento baseia-se na alteração da resistência elétrica de acordo com a variação da temperatura, tornando o modelo altamente preciso [16]. A norma internacional IEC 60751 define que a resistência do sensor é de 100 Ω em 0 °C e 138,5 Ω em 100 °C [16]. O modelo definido para o projeto pode ser visualizado na Fig. 12. e é da marca Haunan, cuja faixa de medição varia de -200 °C a 450 °C.



Fig. 12. Foto do sensor de temperatura PT100.

3) *Transmissor de temperatura:* Na saída do sensor PT100, será utilizado um transmissor de temperatura modelo RTD, com tensão de funcionamento em corrente contínua de 24 V e faixa de operação entre -50 °C e 100 °C, com o objetivo de padronizar o sinal gerado pelo PT100 para uma faixa de 0 V a 10 V [17]. Essa conversão possibilita que os valores medidos sejam transmitidos de forma segura e confiável, mesmo em longas distâncias [17]. A imagem do transmissor de temperatura utilizado pode ser observada na Fig. 13.



Fig. 13. Foto do transmissor de temperatura.

4) *Bomba de recirculação*: Para promover o fluxo hidráulico do sistema, foi selecionado o modelo de bomba de recirculação MP-15RM, da marca Brewparts, devido à sua capacidade de suportar temperaturas de operação de até 120 °C. Esse modelo apresenta tensão de alimentação de 220 V, potência de 10 W, corrente de 150 mA e capacidade máxima de vazão de 19 litros por minuto. A bomba de recirculação utilizada pode ser visualizada na Fig. 14.



Fig. 14. Foto da bomba de recirculação.

5) *Resistor*: Para promover o aquecimento do líquido dentro dos tanques, optou-se pela utilização de resistores especificamente desenvolvidos para produção de cerveja artesanal. O modelo escolhido é de aço inoxidável 304, com potência de 3500 W, tensão de alimentação em 220 V e corrente nominal de 16 A. O modelo determinado é recomendado para tanques de até 30 litros e é possível visualizá-lo observando a Fig. 15.



Fig. 15. Foto do resistor.

6) *Válvula solenóide*: Em relação às válvulas, estas, são definidas por serem dispositivos utilizados para regular a vazão de fluidos em tubulações e máquinas, podendo ser controladas manualmente ou automaticamente [16].

O tipo de válvula selecionada para aplicação no projeto é a solenóide, nomeada dessa forma em razão do seu principal componente ser uma bobina elétrica, que quando energizada, cria um campo eletromagnético que atrai o êmbolo da válvula, abrindo-a [16]. Semelhantemente, quando desenergizada, o êmbolo volta à posição original devido a força de uma mola [16].

A solenóide selecionada, do tipo rosca de 1/2" e compatível com água, óleo e ar comprimido, apresenta saída de função normalmente fechada, tensão de operação de 220 V, temperatura máxima de trabalho de 150 °C e potência da bobina de 19 W, conforme evidenciado na Fig. 16, pertencente à marca AF.



Fig. 16. Foto da válvula solenóide.

7) *Controlador Lógico Programável*: O CLP é um equipamento eletrônico amplamente utilizado em sistemas de

automação industrial, destacando-se por sua robustez e versatilidade na execução de funções lógicas, sequenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas, além de disponibilizar entradas e saídas para sinais analógicos e digitais [16].

No presente projeto, o CLP recebe sinais de entrada provenientes dos sensores de nível e temperatura e, com base nessas informações, emite sinais de saída destinados ao acionamento ou desligamento das bombas e resistores, bem como ao comando de abertura ou fechamento das válvulas.

O modelo de CLP adotado neste projeto é o LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA2, do fabricante Siemens. Este dispositivo opera com tensão de alimentação nominal entre 12 V e 24 V em corrente contínua, dispõe de 8 entradas digitais — sendo 4 delas configuráveis para funcionamento analógico, com alimentação de 0 V a 10 V — e conta com 4 saídas digitais; a imagem do referido CLP está apresentada na Fig. 17.



Fig. 17. Foto do CLP.

O CLP LOGO! disponibiliza gratuitamente ao usuário uma página web que permite o desenvolvimento das telas da IHM, o LOGO!SOFT Comfort. Por meio dessa interface, também é possível realizar o monitoramento do sistema a partir de outros dispositivos, como *smartphones* ou *notebooks*, além do acesso direto pela própria IHM.

8) *Módulo de expansão*: Em conjunto com o CLP, será utilizado um módulo de expansão modelo LOGO! 6ED1055-1NB10-0BA2, também do fabricante Siemens, com o objetivo de aumentar a quantidade de entradas e saídas digitais. O módulo de expansão possui 8 entradas digitais (DI) e 8 saídas digitais (DQ), com tensão de alimentação em corrente contínua menor que 5 V para sinal “0” e maior que 12 V para sinal “1”. As saídas do módulo são relés, sendo que cada uma suporta uma corrente de 5 A. Pode-se observar, na Fig. 18, uma foto do módulo de expansão citado.



Fig. 18. Foto do módulo de expansão.

9) *Interface Homem Máquina*: Visando possibilitar a interação do operador com o sistema de automação, fez-se necessário a utilização de uma interface visual que viabilizasse a configuração de parâmetros e o comando do processo de forma interativa, uma IHM.

A IHM selecionada para este projeto é do modelo LOGO! TDE Test Display 6ED1055-4MH08-0BA1, também do fabricante Siemens, com tensão de alimentação de 12 V a 24

V em corrente contínua ou 24 V em corrente alternada. A imagem da referida IHM é apresentada na Fig.19.



Fig. 19. Foto da IHM.

A IHM é conectada ao CLP através de um cabo de rede e conector RJ45, e é nela que o operador consegue visualizar o fluxo do processo e realizar a configuração dos parâmetros.

Além dos equipamentos já mencionados, alguns componentes elétricos também se fazem necessários para que o projeto funcione adequadamente.

10) Contator: Existem diferentes categorias de contatores disponíveis no mercado, sendo cada categoria para uma aplicação distinta [18]. A categoria AC1 é utilizada quando o fator de potência é minimamente 0,95, sendo a categoria adequada para aplicação em sistemas de aquecimento [18]. O modelo de contator selecionado para o projeto foi o 3RT20251AN20, fabricado pela Siemens — conforme pode ser observado na Fig. 20 — cuja bobina opera em 220 V de corrente alternada, e que foi dimensionado para suportar a corrente nominal do resistor de aquecimento, estimada em aproximadamente 16 A, garantindo a operação segura e confiável do sistema.



Fig. 20. Foto do contator.

11) Minidisjuntor de proteção: O modelo adotado para o projeto é o minidisjuntor monopolar 5SL1 110-7MB, da Siemens [19], conforme ilustrado na Fig. 21. Este dispositivo pertence à série 5SL1, projetada para instalações elétricas residenciais, comerciais e similares, suportando correntes de curto-circuito de até 3 kA em redes de 220/380 V — parâmetros estabelecidos conforme a norma ABNT NBR NM 60898, que regulamenta disjuntores para proteção contra sobrecorrentes em ambientes domésticos e análogos. A NBR NM 60898 define critérios de desempenho, capacidade de interrupção, curvas de disparo e ensaios de segurança para garantir a eficácia na proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos [20].



Fig. 21. Foto do minidisjuntor.

12) Seccionadora rotativa: A seccionadora rotativa especificada para o projeto é o modelo 3LD3248-0TK53, do fabricante Siemens, conforme ilustrado na Fig. 22. Esse dispositivo é destinado ao desligamento seguro de circuitos

sob carga e à prevenção da abertura da porta do painel enquanto o sistema estiver energizado, assegurando a conformidade com os requisitos de segurança estabelecidos no projeto. Ademais, seu mecanismo de acionamento atende às disposições da norma ABNT NBR IEC 60204-1, ao incorporar um sistema de intertravamento que impede o acesso ao interior do painel até que a alimentação elétrica seja completamente interrompida, conforme previsto nas seções 6.2.4 e 6.2.5 da referida norma [21].

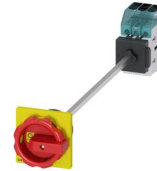


Fig. 22. Foto da seccionadora rotativa.

13) Fonte chaveada: O conversor de potência adotado no projeto é responsável pela transformação da tensão de alimentação de 220 V em corrente alternada (CA) para 24 V em corrente contínua (CC). Para tal finalidade, foi especificado o modelo 6EP3333-3SB00-0AX0, fabricado pela Siemens, cuja representação visual é apresentada na Fig. 23. Este equipamento possui potência nominal de 120 W e é capaz de fornecer corrente de até 5 A, sendo empregado na alimentação do Controlador Lógico Programável (CLP), dos módulos de relés, dos sensores capacitivos e dos transmissores de temperatura que integram o sistema.



Fig. 23. Foto da fonte chaveada.

14) Borne relé: No projeto, foram utilizados relés para o acionamento das válvulas e das bombas de recirculação. O modelo selecionado para essa finalidade foi o 3RQ3118-1AB00, da fabricante Siemens, cuja bobina opera com tensão de 24 V em corrente contínua. Esse modelo possui contato reversível e suporta corrente de até 3 A, sendo, portanto, compatível com os componentes acionados, considerando que as válvulas consomem 0,087 A e as bombas, 0,045 A. A imagem do modelo de borne adotado pode ser visualizada na Fig. 24.



Fig. 24. Foto do borne relé.

15) Switch: O switch é empregado para conectar o cabo de rede da internet local juntamente com os cabos de rede do CLP e da IHM. Essa conexão permite ao usuário o acesso externo da página web de monitoramento, caso contrário, o acesso ao programa é limitado somente a IHM. O modelo de switch empregado no projeto foi o ME58151, da marca

Murreletrick, o qual possui 4 portas e uma tensão de alimentação de 24 V em corrente contínua. O item citado pode ser identificado na Fig. 25.



Fig. 25. Foto do switch.

16) *Bornes*: Os bornes são elementos utilizados para fazer as conexões dos cabos internos do painel com os cabos externos.

17) *Botões e sinaleiros*: Para situações emergenciais, foi selecionado o botão de emergência modelo 3SB7130-1HB20-1CA0, do fabricante Siemens, cuja imagem pode ser observada na Fig. 26. A escolha e o posicionamento deste dispositivo consideram as exigências normativas da ABNT NBR IEC 60204-1, que define os requisitos gerais de segurança elétrica para máquinas, incluindo a obrigatoriedade de sistemas de parada de emergência acessíveis e eficazes [22]; e da NR-10, que estabelece os requisitos e condições mínimas para a segurança em instalações e serviços com eletricidade, com foco na proteção do trabalhador [23]. Embora não determinem explicitamente a instalação do botão na porta do quadro, tais normas reforçam a necessidade de dispositivos de desligamento de emergência acessíveis, visíveis e de fácil acionamento, características atendidas pelo modelo selecionado.



Fig. 26. Foto do botão de emergência.

Para a sinalização visual na porta do painel, foi selecionado o sinaleiro monobloco modelo 3SB7213-6AA60-1AA0, cuja representação pode ser observada na Fig. 27. Para o alerta audível, utilizou-se o *buzzer* acoplado ao sinaleiro do modelo 3SB7213-7AA20-1AA0, como ilustrado na Fig. 28. O acionamento inicial do sistema é realizado por meio de um botão de impulso modelo 3SB7230-0AB10-1FA0, cujo pode ser visualizado na Fig. 29, o qual permite a condução de tensão à entrada digital do CLP, ativando a lógica de programação. Todos os componentes utilizados são fabricados pela Siemens [24].



Fig. 27. Foto do sinaleiro monobloco.



Fig. 28. Foto do *buzzer*.



Fig. 29. Foto do botão de impulso.

18) *Quadro Metálico*: Para a montagem do quadro, é necessário realizar a fixação dos componentes elétricos nos trilhos e a acomodação dos cabos nas canaletas plásticas, para isso, optou-se pelo modelo de caixa 6050-20, a qual possui 600 mm de altura, 500 mm de largura e 200 mm de profundidade. Pode-se observar a foto de uma caixa metálica, utilizada para exemplificação do modelo projetado, conforme ilustrado na Fig. 30.



Fig. 30. Foto do quadro metálico.

IV. RESULTADOS

Para realizar a confecção da tela da IHM, utilizou-se um servidor *web*. Na interface desenvolvida, são apresentadas a data e a hora, bem como a indicação da fase atual do processo e a contagem do tempo decorrido. Observa-se, ainda, a representação dos níveis mínimo e máximo de cada tanque ou reservatório. Da mesma forma, identificam-se indicativos visuais correspondentes às válvulas, resistores e bombas, os quais têm a função de sinalizar o estado de acionamento ou desligamento desses componentes.

Com relação às temperaturas do processo, nas etapas de *mosturação*, *fervura* e *resfriamento*, foram desenvolvidos *termômetros* que exibem, de forma animada, as variações em tempo real, bem como botões específicos para o início e a parada da operação. A tela da IHM desenvolvida no *software LOGO! Web Editor* é ilustrada na Fig. 31.

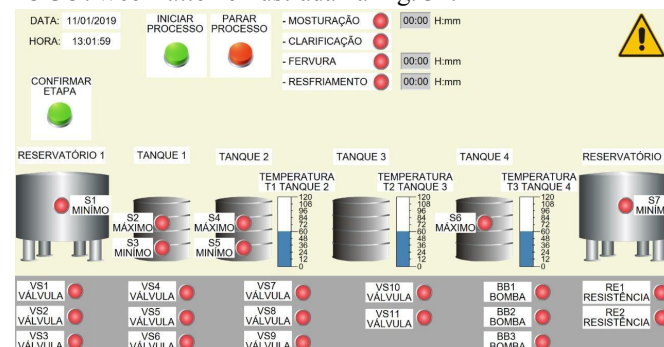


Fig. 31. Ilustração da tela da IHM projetada em um simulador.

Para todas as fases que demandam a intervenção do operador, a interface da IHM apresenta um aviso indicando a ação necessária, solicitando a confirmação por meio do botão 'OK'.

Com o objetivo de facilitar a compreensão das conexões físicas entre o CLP e a IHM, a arquitetura de hardware foi previamente modelada e simulada no ambiente do *software LOGO! Soft Comfort*, conforme ilustrado na Fig. 32. Essa simulação permitiu validar a disposição dos terminais e a correta associação das entradas e saídas, assegurando a integridade da comunicação entre os dispositivos.

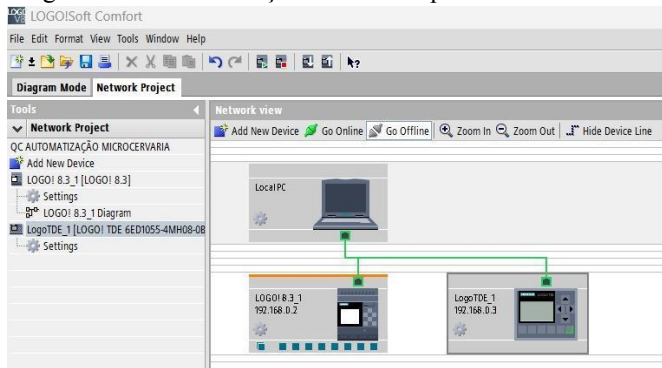


Fig. 32. Ilustração das conexões entre CLP e IHM.

Adicionalmente, a Fig. 33 apresenta a descrição detalhada das *tags* correspondentes às entradas e saídas do sistema, as quais são essenciais para a correta parametrização e implementação da lógica de programação no CLP.

Input terminals	Name	Output terminals	Name
11	EA_T1_TEMP_TANQUE1	Q1	ACION_BOMBA_BB1
12	EA_T2_TEMP_TANQUE3	Q2	ACION_VALVULA_V51
13	S1_NIV_MIN_RESERVAT...	Q3	ACION_VALVULA_V52
14	S2_NIV_MAX_TANQUE1	Q4	ACION_RESISTENCIA_RE1
15	S3_NIV_MIN_TANQUE1	Q5	ACION_VALVULA_V53
16	S4_NIV_MAX_TANQUE2	Q6	ACION_BOMBA_BB2
17	EA_T3_TEMP_TANQUE4	Q7	ACION_VALVULA_V54
18	S5_NIV_MIN_TANQUE2	Q8	ACION_VALVULA_V55
19	S6_NIV_MAX_TANQUE4	Q9	ACION_VALVULA_V56
110	S7_NIV_MIN_RESERVAT...	Q10	ACION_VALVULA_V57
111	BT_INICIA_PROCESSO	Q11	ACION_VALVULA_BB3
112	BT_DESLIGA_PROCESSO	Q12	ACION_VALVULA_V58
113	BT_CONFIRMA_ETAPA	Q13	ACION_RESISTENCIA_RE2
114	BT_EMERGENCIA	Q14	ACION_VALVULA_V59
115		Q15	ACION_BOMBA_BB4
116		Q16	ACION_VALVULA_V510
117		Q17	ACION_VALVULA_V511
118		Q18	ACION_ALARME_PORTA
119		Q19	
120		Q20	
121		AQ1	
122		AQ2	

Fig. 33. Descrição de *tags* utilizadas na programação.

Como resultado, o diagrama elétrico do quadro de comando foi desenvolvido e está apresentado no Anexo 1, sendo que o custo estimado dos materiais necessários para sua confecção é de aproximadamente R\$7.800,00, conforme detalhado no Anexo 2. Além disso, para viabilizar a produção e implantação, alguns componentes — como bornes, sinaleiros, botões, relés, contadores, minidisjuntores, switches e seccionadoras — podem ser substituídos por alternativas mais econômicas, desde que atendam às especificações técnicas originais.

Por outro lado, o custo estimado dos materiais de campo é de aproximadamente R\$9.100,00, com os valores discriminados no Anexo 3. Assim, itens como sensores capacitivos, válvulas e bombas também podem ser trocados

por versões mais acessíveis, desde que mantenham as características técnicas previstas no projeto.

O *layout* físico do quadro de comando foi desenvolvido considerando a disposição otimizada dos componentes, a adequação ao espaço disponível e o atendimento aos requisitos de acessibilidade e segurança elétrica. Essa representação física pode ser visualizada na Fig. 34, na qual os componentes estão identificados por letras e números, sendo: A, a IHM; B, o sinaleiro branco indicando comando energizado; C, o botão de impulso verde utilizado para iniciar o processo; D, o botão de impulso vermelho destinado à parada do processo; E, o botão de impulso preto utilizado para confirmação de etapa; F, o *buzzer* de alarme; G, o acionamento rotativo externo da chave seccionadora; H, o botão de emergência; e I, as placas de advertência e identificação. Os elementos internos do painel são identificados pelos números: 1, fonte chaveada; 2, CLP; 3, bornes relés; 4, chave seccionadora; 5, contadoras; 6, bornes; 7, *switch*; e 8, minidisjuntores.

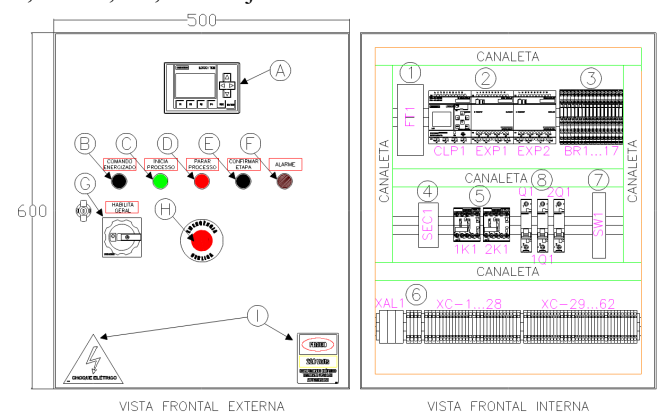


Fig. 34. Ilustração do *layout* desenvolvido para o quadro de comando.

Dessa forma, além do desenvolvimento do diagrama elétrico, também foram identificados ganhos operacionais significativos, especialmente no que se refere à atuação do operador ao longo do processo produtivo. Em um cenário manual, o operador precisa permanecer em contato direto com o sistema por, no mínimo, 85 minutos durante a etapa de mosturação, acrescidos de aproximadamente 10 minutos para a adição do malte. Na etapa de fervura, são exigidos cerca de 125 minutos de supervisão contínua, além de mais 10 minutos para a inserção do lúpulo e outros 10 minutos para a adição da pastilha floculante. Assim, o tempo total de envolvimento direto do operador atinge aproximadamente 240 minutos (ou 4 horas), período no qual é necessário monitorar constantemente a temperatura, o tempo e a troca de recipientes.

Com a implementação do sistema automatizado, estima-se uma redução expressiva desse tempo, limitando a atuação direta do operador a cerca de 30 minutos. Dessa maneira, obtém-se uma economia operacional de aproximadamente 210 minutos, os quais podem ser destinados a outras atividades produtivas, promovendo uma melhor gestão do tempo e aumentando a eficiência do processo como um todo.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o projeto e desenvolvimento de um sistema de automação voltado às microcervejarias, abrangendo as etapas de mosturação, filtração, fervura e resfriamento. A proposta visou proporcionar maior precisão, controle e eficiência ao processo produtivo da cerveja artesanal, por meio da integração de elementos de instrumentação, controle e automação industrial, como sensores, atuadores, CLP e IHM.

A automação das etapas de produção citadas demonstrou relevante contribuição para a padronização dos parâmetros operacionais críticos, tais como temperatura e tempo, que impactam diretamente a qualidade e estabilidade do produto final. A lógica de controle desenvolvida permitiu a execução sequencial e segura dos processos, reduzindo a necessidade de intervenção constante do operador e minimizando o risco de falhas humanas.

Além disso, os benefícios proporcionados pela automação são evidentes em todas as etapas integradas ao sistema. Na mosturação, o controle automatizado garantiu o aquecimento adequado do mosto e a recirculação eficiente, favorecendo a extração otimizada dos açúcares do malte. Na filtração, a automação assegurou uma filtragem eficaz, promovendo a transferência do mosto com mínima perda. Durante a fervura, o controle térmico automatizado, aliado aos alertas para adição manual de insumos, aumentou a precisão e a confiabilidade do processo. Por fim, na etapa de resfriamento, o sistema proporcionou uma redução térmica rápida e controlada, garantindo condições ideais para a fermentação subsequente.

Como limitação, observa-se que o sistema desenvolvido não contempla as etapas posteriores à produção do mosto, como fermentação, maturação, carbonatação e envase, as quais permanecem sob responsabilidade do operador e exigem controle adicional. Tal delimitação foi estrategicamente adotada visando a viabilidade econômica do projeto, especialmente em função da realidade de microcervejarias que operam com volume reduzido de produção e recursos limitados.

Em síntese, o projeto apresentado reforça a importância e a viabilidade da aplicação da automação industrial no contexto da produção artesanal, especialmente em ambientes produtivos de menor escala. A solução desenvolvida contribui para o aprimoramento técnico do setor de microcervejarias, promovendo maior padronização, produtividade e segurança operacional, ao mesmo tempo em que respeita as limitações orçamentárias típicas do segmento. Assim, este trabalho não apenas cumpre seu propósito inicial, mas também abre espaço para novas pesquisas e inovações voltadas à automação inteligente no setor cervejeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Anuário da Cerveja 2024: Ano referência 2023. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2024-. ISBN 978-85-7991-235-1. Anual.
- [2] BRASIL. Decreto nº 9.902, de 8 de julho de 2019. Altera o Anexo ao Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que

- dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União - Seção 1: Decreto Nº 9.902, de 8 de julho de 2019, [S. l.]: Secretaria-Geral, p. 7, 9 jul. 2019.
- [3] SILVA, Hiury Araújo; LEITE, Maria Alvim; PAULA, Arlete Rodrigues Vieira de. Cerveja e sociedade. **Contextos da Alimentação**: Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 85-91, 04 mar. 2006. [Online]. Disponível: https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistacontextos/wp-content/uploads/2016/03/73_CA_artigo_revisado.pdf. Acesso em: 24 jul. 2024.
- [4] RAMOS, G. C. B. et.al. A evolução do mercado de cervejas artesanais no Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 480-488, 2019. [Online]. Disponível: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/591>. Acesso em: 28 ago. 2024.
- [5] RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 57.160, de 31 de agosto de 2023. Modifica o Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (RICMS). Decreto Nº 57.160, de 31 de agosto de 2023: Diário Oficial Nº 169 - 3ª edição, Porto Alegre, v. 1, p. 4-5, 2023.
- [6] REBELLO, Flávia De Floriani Pozza. Produção de cerveja. *Revista Agroggeoambiental*, Inconfidentes, v. 1, n. 3, p. 109-119, dez. 2009. Disponível em: <https://www.ifsuldeminas.edu.br>. Acesso em: 7 jun. 2025.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [8] SCHEFFER, R. C. et al. Processo produtivo da cerveja tipo Pilsen. VII Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, p. 1-12, 2013.
- [9] HORNINK, Gabriel Gerber. *Princípios da produção cervejeira e as enzimas na mosturação*. 2. ed. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, 2024. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/portal/2022/06/14/principio-s-da-producao-cervejeira-e-as-enzimas-na-mosturacao-gabriel-gerber-hornink/>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [10] BICALHO PIMENTA, Leandro et al. A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 37, n. 3, p. 641-659, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1128014/a-historia-e-o-processo-da-producao-da-cerveja-uma-revisao>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [11] ZAMBÃO, Isadora Gabriela. *Controle de qualidade no processo de produção de cervejas: revisão bibliográfica*. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2024. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/95530>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [12] BENACCHIO, Alcione. Automação e otimização da produção de cerveja artesanal para a prospecção de

- técnicas sustentáveis. 2023. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/3809cae0-a3f1-41bd-a4e5-b93c503714a5>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [13] **THABET, Gabriel Thomaz.** Desenvolvimento de um sistema automatizado para produção de cerveja artesanal. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) — Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243294>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- [14] **WE CONSULTORIA.** **Como Fazer Cerveja.** Como Fazer 25 Litros de Cerveja Ale (Alta Fermentação). *[S.l.]*. Disponível em: <https://www.comofazercerveja.com.br/passos-a-passo-com-o-fazer-cerveja>. Acesso em: 2 abr. 2025.
- [15] **ALVES, T. D. S.** **Automação Industrial II.** 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia e Gestão Industrial, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, 2005. Disponível em: http://www.esta.ipt.pt/download/disciplina/567__sebenta__automa%C3%A7%C3%A3o_indii_2005.pdf. Acesso em: 2 abr. 2025.
- [16] **MARTINS, A. D. P.; SCHURT, E. L.; RAMOS, F. S. D. C.** **ESTUDO DA VIABILIDADE DE AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE BRASSAGEM, FILTRAGEM E FERVURA DA CERVEJARIA FLORESTA.** Orientador: Alexandre José Tuoto Silveira Mello, Dr. Coorientador: Ricardo Sales da Veiga, Me. 2018. 155 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10154/1/CT_COELE_2018_2_20.pdf. Acesso em: 3 abr. 2025.
- [17] **GRUPO WIKA.** **WIKI.** Transmissores de temperatura de alta qualidade da WIKI. Iperó: WIKI DO BRASIL Ind. e Com. Ltda., 2025. Disponível em: https://www.wika.com/pt-br/transmissores_de_temperatura.WIKA?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwwLO_BhB2EiwAx2e-32jr-dub80JJUgkrGeayvPkzsBlf_wdkUI5wDkLO5I2iC5fdh8TlhRoCpZQ0AvD_BwE. Acesso em: 3 abr. 2025.
- [18] **PANISSON, Pedro Henrique Baseggio.** **Sistema de Automação para Microcervarias Artesanais.** Orientador: Dr. Adriano Luís Toazza. 2019. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1712/1/PF2019Pedro%20Henrique%20Baseggio%20Panisson.pdf>. acesso em: 9 abr. 2025.
- [19] **SIEMENS (São Paulo).** Minidisjuntores 5SL, 5SY e 5SP: A proteção adequada para cada tipo de projeto. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2018. 11 p. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fcde51c5-5a34-4778-a2e4-346e85b9450a/catalogo-minidisjuntores-set18-alta.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- [20] **ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 60898:2004 – Disjuntores para proteção de sobrecorrentes para instalações domésticas e similares (IEC 60898:1995, MOD).** 1. ed. Montevideu: AMN, 2004.
- [21] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR IEC 60204-1: 2020 – Segurança de Máquinas – Equipamento Elétrico de Máquinas – Parte 1: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/151581662/abnt-nbr-iec-60204>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [22] **BRASIL.** Ministério do Trabalho e Emprego. NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Portaria nº 598, de 7 de dezembro de 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/11639388/Instala%C3%A7%C3%B5es_el%C3%A9tricas_de_baixa_tens%C3%A3o_ABNT_NBR_5410. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [23] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [24] **SIEMENS (São Paulo).** Comando e Sinalização 3SB7: Design inovador e fácil montagem para todas as aplicações. São Paulo: [s. n.], 2025. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2614ae85-5501-43b2-b3c2-bcd867b81848/catalogo-comando-e-sinalizacao-3sb7.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2025.

DADOS BIOGRÁFICOS

Denner Henrique Egger Rodrigues, nascido em 04/06/1993 em Panambi-RS, é formado no ensino médio pela Escola Estadual de Educação Básica Poncho Verde (2010). Em maio de 2009 iniciou o curso profissionalizante de conformador de peças em metal no Senai, sendo jovem aprendiz pela empresa Kepler Weber Industrial SA, concluindo o curso em dezembro de 2010.

Em maio de 2011 iniciou de fato sua jornada profissional quando foi contratado pela empresa NBRtec Indústria de Equipamentos Elétricos Ltda como auxiliar de produção. Em janeiro de 2012 ingressou no setor de engenharia da mesma empresa sendo promovido ao cargo de projetista orçamentista, passando gradualmente de júnior para pleno, chegando à posição de projetista sênior, a qual permanece hoje.