

PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ESTUFA DE MORANGOS COM CLP E IHM

Luiz Gustavo Dessbesell de Castro¹, Ângelo Felipe Sartori (orientador)²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Panambi – RS, Brasil

E-mail: luiz.2021007366@aluno.iffar.edu.br, angelo.sartori@iffarroupilha.edu.br

Resumo - Este trabalho apresenta o projeto de um sistema de automação inteligente para uma estufa de morangos da ED Agrícola, com dimensões aproximadas de 50 m x 10 m (500 m²). A proposta utiliza CLP Siemens S7-1200, IHM Unified, sensores industriais, atuadores eletromecânicos e supervisão remota para controlar irrigação, ventilação, sombreamento e suplementação luminosa. O sistema foi organizado em módulos, com quatro zonas independentes de irrigação, leitura de variáveis ambientais, proteção da bomba por nível de reservatório, acionamento de exaustor, cortinas laterais, sombrites superiores e LEDs Grow. A metodologia envolveu levantamento da estufa, definição da arquitetura, mapeamento de I/Os, elaboração de diagramas, estimativa de custos e simulação de payback. Como resultado esperado, busca-se reduzir a dependência do manejo manual, aumentar a estabilidade do microclima e oferecer ao produtor uma solução compatível com a Agricultura 4.0.

Palavras-chave - Agricultura 4.0, Automação Agrícola, CLP, Estufa Inteligente, Supervisão Industrial.

DESIGN OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR A STRAWBERRY GREENHOUSE USING PLC AND HMI

Abstract - This paper presents the design and development of an intelligent automation system for an approximately 50 m x 10 m (500 m²) strawberry greenhouse related to ED Agrícola. The proposed solution uses a Siemens S7-1200 PLC, Unified HMI, industrial sensors, electromechanical actuators and remote supervision to control irrigation, ventilation, shading and supplemental lighting. The system includes four independent irrigation zones, environmental monitoring, pump protection by reservoir level, exhaust fan control, motorized curtains, shading screens and LED Grow lighting. The methodology included the survey of greenhouse requirements, control architecture definition, I/O mapping, functional diagrams, cost estimation and simple payback simulation. The expected results include reducing manual intervention, improving microclimate stability, optimizing water use and providing a safer and more standardized solution.

Keywords - Agriculture 4.0, Agricultural Automation, PLC, Smart Greenhouse, Industrial Supervision.

NOMENCLATURA

CLP – Controlador Lógico Programável.

IHM – Interface Homem-Máquina.

PLC – Programmable Logic Controller.

TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal.

PROFINET – Process Field Network.

VPN – Virtual Private Network.

LED – Light Emitting Diode.

LED Grow – Sistema de iluminação artificial utilizado para suplementação luminosa no cultivo vegetal.

S7-1200 – Família de Controladores Lógicos Programáveis Siemens utilizada em aplicações industriais compactas e modulares.

CPU – Central Processing Unit.

DI – Digital Input, ou entrada digital.

DQ – Digital Output, ou saída digital.

AI – Analog Input, ou entrada analógica.

Setpoint – Valor de referência configurado para controle de uma variável.

Feedback – Sinal de retorno utilizado para confirmar o estado de sensores, motores ou atuadores.

VPN Industrial – Rede privada virtual aplicada à comunicação segura com sistemas industriais.

Microclima – Conjunto de condições ambientais internas de um ambiente específico, como temperatura, umidade e ventilação.

Sombrites – Telas de sombreamento utilizadas para reduzir a incidência de radiação solar direta sobre a cultura.

1. INTRODUÇÃO

A produção de morangos possui importância econômica para pequenas propriedades, principalmente por se tratar de uma cultura de alto valor agregado e boa aceitação comercial. Publicações da Embrapa indicam que o cultivo do morangueiro em substrato e em ambiente protegido tem avançado como alternativa para melhorar a qualidade dos frutos, reduzir problemas relacionados ao solo e tornar o manejo mais organizado [1], [2], [3]. Aspectos agroclimáticos e econômicos da cultura também reforçam sua relevância para o Rio Grande do Sul e para pequenas propriedades [4], [5].

Apesar dos benefícios do cultivo protegido, a estufa não elimina a necessidade de acompanhamento diário. Ela cria um microclima próprio, no qual temperatura, umidade relativa, radiação, ventilação e umidade do substrato variam ao longo do dia. Estudos nacionais sobre estufas plásticas mostram que a cobertura altera as condições internas de temperatura e umidade em relação ao ambiente externo, o

que reforça a necessidade de estratégias de ventilação e controle [6], [7], [8].

Na prática, muitas decisões ainda dependem da observação direta do produtor. É ele quem percebe o momento de irrigar, abrir cortinas, ligar ventilação ou fechar telas de sombreamento. Esse conhecimento prático é essencial, porém apresenta limitações quando a estufa exige resposta rápida. Em uma cultura sensível como o morango, atrasos no manejo podem gerar estresse hídrico, aumento de umidade, perda de conforto térmico e menor uniformidade entre as plantas.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a aplicação de automação industrial em uma estufa de morangos da ED Agrícola, utilizando CLP Siemens S7-1200, IHM Unified, sensores industriais, atuadores eletromecânicos e supervisão remota. A escolha por CLP se justifica pela robustez, possibilidade de expansão, integração com IHM e capacidade de trabalhar com sinais digitais e analógicos em uma lógica segura e padronizada [9], [10], [11], [12].

Além da parte técnica, o trabalho considera a escala da estufa analisada, com aproximadamente 50 m x 10 m (500 m²), e a realidade econômica da propriedade. Segundo informação fornecida pelo proprietário da ED Agrícola, o morango é comercializado em média entre R\$ 30,00 e R\$ 35,00 por quilograma [13]. Por isso, foram incluídas estimativas de custo e payback para aproximar o projeto de uma aplicação real.

O artigo apresenta objetivos, metodologia, fundamentação teórica, projeto do sistema, instrumentação, análise econômica, limitações e conclusões.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo geral

Projetar um sistema de automação inteligente para uma estufa de morangos da ED Agrícola, utilizando CLP Siemens S7-1200, IHM Unified, instrumentação industrial e supervisão remota para controle de irrigação, ventilação, sombreamento e suplementação luminosa.

B. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- levantar as necessidades operacionais da estufa relacionadas à irrigação, ventilação, sombreamento, iluminação suplementar e segurança;
- identificar as variáveis críticas do cultivo protegido de morangos;
- definir a arquitetura de automação e comunicação do sistema;
- selecionar sensores, atuadores, módulos e dispositivos de proteção compatíveis com a aplicação;
- mapear entradas e saídas digitais e analógicas;
- estruturar a lógica de controle para irrigação, ventilação, cortinas, sombrites e LED Grow;
- elaborar diagramas funcionais, layouts do painel e representações no TIA Portal;

- estimar custos de implantação e simular cenários de retorno financeiro;
- apresentar as limitações e os benefícios projetados da solução.

III. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido como um estudo aplicado, de caráter projetual, voltado à elaboração de uma solução de automação industrial para uma estufa de morangos. A metodologia foi organizada em etapas sucessivas, iniciando pelo levantamento das necessidades da propriedade e pela identificação das principais variáveis envolvidas no cultivo protegido, como temperatura, umidade relativa do ar, umidade do substrato, nível do reservatório, ventilação, sombreamento e acionamento de cargas elétricas.

Fluxograma metodológico

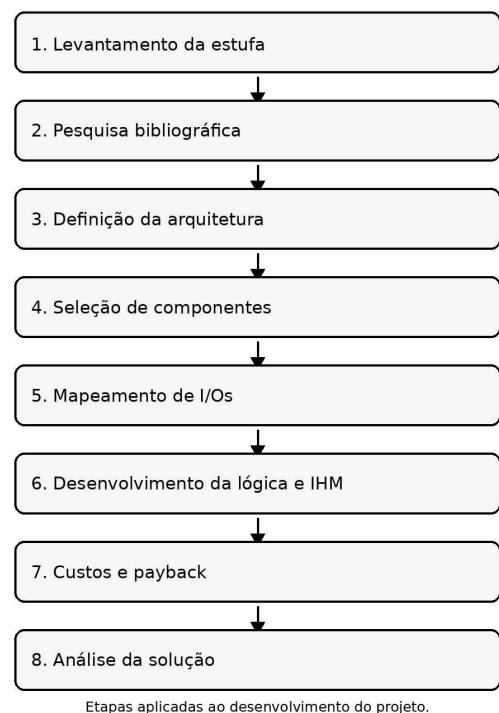


Fig. 1. Fluxograma metodológico do trabalho.

Na etapa de pesquisa bibliográfica, foram consultadas publicações técnicas e científicas sobre cultivo protegido de morangos, produção em substrato, microclima em casas de vegetação, irrigação automatizada, Agricultura 4.0, CLP, IHM, comunicação industrial e segurança elétrica [1], [2], [14], [6], [8], [15], [16]. Essa base foi utilizada para justificar a escolha das variáveis controladas e a necessidade de integração entre irrigação, ventilação e sombreamento [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23].

Em seguida, foram definidos os requisitos técnicos do sistema. Considerou-se uma arquitetura modular composta por sensores, CLP, módulos de expansão, IHM, atuadores e supervisão remota. A escolha do CLP Siemens S7-1200 foi fundamentada na possibilidade de expansão, integração com IHM, comunicação PROFINET e compatibilidade com aplicações industriais compactas [9], [10], [11], [12]. Também foram considerados os documentos comerciais e

técnicos dos sensores MAS-1 e HFT10 DT3 para compatibilizar sinais analógicos 4-20 mA e 0-10 V com o mapeamento de entradas do CLP [24], [25].

Posteriormente, foram elaborados o diagrama funcional da estufa, os layouts frontal e interno do painel de comando, o mapeamento de entradas e saídas, a definição dos modos de operação, a lista de alarmes e os parâmetros iniciais de controle. A lógica foi descrita com base em ciclos de leitura, comparação com setpoints, verificação de permissões, acionamento de atuadores e geração de alarmes. Por fim, foi realizada uma análise econômica preliminar, considerando a estimativa de custo dos componentes e cenários de payback simples a partir do preço médio de comercialização informado pela ED Agrícola [13].

Ressalta-se que o sistema proposto não foi implantado nem validado experimentalmente em campo nesta etapa. Portanto, os resultados apresentados correspondem a benefícios projetados e estimativas técnicas e econômicas, devendo ser confirmados futuramente por meio de testes práticos, coleta de dados e comparação entre o manejo manual e o manejo automatizado.

IV. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Cultivo protegido de morangos

O cultivo protegido é utilizado para reduzir a exposição das plantas à chuva, geada, vento e variações ambientais bruscas. No morangueiro, esse sistema é relevante porque permite o uso de bancadas, substratos, fertirrigação e estruturas mais organizadas de manejo, melhorando a ergonomia e reduzindo problemas associados ao cultivo diretamente no solo [1], [2], [26], [14]. Estudos sobre produção e cultivo sem solo do morangueiro também demonstram a importância do controle do ambiente produtivo e da fertirrigação em sistemas protegidos [27], [28], [29].

A Embrapa descreve que a produção fora do solo pode auxiliar no manejo de doenças radiculares e possibilitar maior controle do ambiente produtivo [2]. Esse ponto é importante para o presente projeto, pois a automação proposta atua justamente sobre variáveis que se tornam críticas em sistemas de substrato: água, temperatura, umidade, ventilação e sombreamento.

Quando a produção ocorre em substrato, o volume disponível para retenção de água é menor do que no solo. Por isso, falhas no manejo hídrico podem afetar rapidamente a cultura. A irrigação por demanda, com sensores e válvulas por zona, torna-se uma alternativa coerente para reduzir variações e evitar tanto excesso quanto falta de água, conforme apontam trabalhos sobre automação de irrigação e controle ambiental aplicados a morangos e estufas [15], [16], [17], [18], [30], [31].

B. Microclima, irrigação e variáveis ambientais

O microclima de uma estufa é formado pela interação entre temperatura, umidade relativa, circulação de ar, radiação, irrigação e características da cobertura. Holcman e Sentelhas analisaram alterações de temperatura e umidade relativa provocadas por diferentes coberturas plásticas, evidenciando que o ambiente protegido se comporta de forma distinta do ambiente externo [6]. Outras pesquisas sobre casas de vegetação também indicam a influência da cobertura e de telas termorrefletoras sobre radiação e conforto térmico [7], [8].

A ventilação, o sombreamento e a irrigação precisam ser tratados de forma integrada. Uma irrigação excessiva pode elevar a umidade interna; por outro lado, ventilação intensa em dias secos pode aumentar a demanda hídrica das plantas. Por isso, a lógica do sistema foi pensada para relacionar sensores, setpoints, alarmes e intertravamentos.

A automação não elimina a decisão do produtor em situações específicas, mas cria uma base de controle mais previsível. Dessa forma, o controle automatizado permite que variáveis como temperatura, umidade relativa e umidade do substrato sejam acompanhadas continuamente, reduzindo a dependência exclusiva da observação manual do produtor.

C. Automação aplicada a estufas

Trabalhos brasileiros sobre automação de irrigação e estufas mostram que sensores, controladores e atuadores podem ser integrados para controlar temperatura, umidade, irrigação e iluminação [15], [16], [17], [18], [30], [32]. Mesmo quando utilizam plataformas diferentes, esses trabalhos reforçam a mesma ideia: medir variáveis, comparar com valores de referência e acionar equipamentos de forma automática. Esse raciocínio também se aproxima das discussões sobre transformação digital no campo e Agricultura 4.0 [19], [20].

O LED Grow foi previsto como recurso de suplementação luminosa para a estufa, especialmente em períodos de baixa incidência de luz natural, como dias nublados, inverno ou início e final do dia. Sua função não é substituir a radiação solar, mas complementar a luminosidade disponível ao cultivo, permitindo maior flexibilidade operacional ao produtor.

Neste trabalho, optou-se pelo uso de CLP em vez de soluções baseadas apenas em temporizadores ou microcontroladores. A decisão está relacionada ao número de sinais do sistema, à necessidade de intertravamentos, à integração com IHM, à comunicação em rede e à possibilidade de manutenção por profissionais da área de automação industrial [9], [10], [11], [12].

A estrutura visual e técnica do desenvolvimento também tomou como referência o trabalho de Denner Henrique Egger Rodrigues, que utiliza CLP, IHM, sensores e atuadores para automatizar um processo produtivo [33].

V. PROJETO DO SISTEMA

A. Descrição geral do projeto

O sistema foi desenvolvido como proposta modular para a estufa de morangos da ED Agrícola, com dimensões aproximadas de 50 m x 10 m (500 m²). A aplicação foi dividida em subsistemas para facilitar programação, testes e futura implantação por etapas, considerando quatro camadas: sensoriamento, controle, atuação e supervisão.

Na camada de sensoriamento estão os sensores de temperatura e umidade do ar, umidade do substrato, nível de reservatório, fins de curso e feedbacks. A camada de controle é formada pelo CLP Siemens S7-1200 e seus módulos de expansão. A camada de atuação inclui bomba, válvulas, exaustor, motores tubulares, sombrites e LED Grow. A supervisão do sistema é realizada por meio da IHM Siemens Unified e do acesso remoto disponibilizado por um roteador VPN industrial Delta. No projeto, a IHM e o roteador estão configurados na mesma rede industrial e na mesma faixa de endereçamento IP, permitindo a comunicação entre os dispositivos. Além da operação local pela tela da IHM, foi habilitado o recurso de acesso via Web Server, possibilitando que as telas de supervisão sejam acessadas por meio de um navegador web. Dessa forma, ao inserir o endereço IP da IHM no navegador, o operador autorizado consegue visualizar e interagir com as telas do sistema remotamente, respeitando as permissões e configurações de rede estabelecidas no projeto.

A instalação dos sensores deve considerar pontos representativos do microclima da estufa, evitando locais diretamente expostos ao sol, próximos aos atuadores ou sujeitos a leituras localizadas. Dessa forma, busca-se obter medições mais coerentes com as condições médias do ambiente interno.

A Figura 2 apresenta o diagrama funcional do sistema, desenvolvido no estilo de esquema de processo para auxiliar a leitura do projeto elétrico. O desenho mostra reservatório, bomba, linha principal de irrigação, válvulas das quatro zonas, sensores de umidade, exaustor, cortinas, sombrites, LED Grow e sensor de temperatura/umidade relativa.

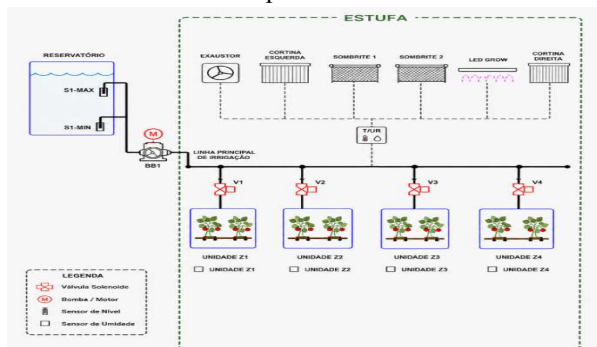


Fig. 2. Diagrama funcional da estufa, com reservatório, bomba, válvulas, zonas de irrigação e elementos de controle climático.

B. Layouts do painel de comando

Além do diagrama funcional, foram considerados os layouts frontal e interno do painel de comando como demonstra a Figura 3. O layout frontal posiciona a IHM, a seccionadora geral, o botão de emergência, os comandos de energização e as sinalizações. O layout interno organiza CLP, módulos de expansão, bornes, contatores, relés, fonte e canaletas. Essa documentação aproxima o trabalho de um projeto executável, pois não limita a proposta à descrição textual.

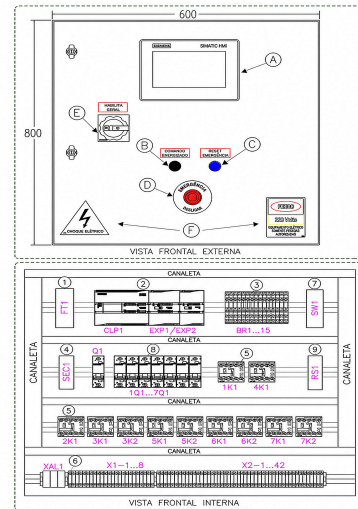


Fig. 3. Ilustração do layout desenvolvido para o quadro de comando.

C. Representações no TIA Portal

O sistema também foi estruturado no ambiente Siemens TIA Portal, seguindo a lógica de desenvolvimento adotada em projetos industriais. Foram consideradas a tela inicial da IHM, a configuração do hardware com CPU 1214C, módulo SM 1223 e módulo SM 1231, além da rede de comunicação entre CLP e IHM. As figuras a seguir demonstram que a proposta foi organizada em um ambiente de engenharia compatível com uma futura implantação. [9], [10], [11], [12].



Fig. 4. Foto da tela de entrar da IHM no TIA Portal.

A tela de entrada utiliza a identidade visual da ED Agrícola e permite o acesso às funções principais de irrigação, clima, motores, LED Grow, alarmes e supervisão.



Fig. 5. Foto da tela de início da IHM no TIA Portal.

A tela de início reúne as principais variáveis da estufa, como temperatura, umidade relativa, umidade das zonas, estado do reservatório, modo de operação e status dos atuadores principais.



Fig. 6. Foto da tela de irrigação da IHM no TIA Portal.

A tela de irrigação concentra o estado da bomba, reservatório e quatro zonas de irrigação. Em cada zona são exibidos umidade atual, setpoint mínimo, retorno e estado da válvula, mantendo comandos manuais supervisionados e proteções operacionais.



Fig. 7. Foto da tela de clima da IHM no TIA Portal.

A tela de clima permite visualizar temperatura, umidade relativa, setpoints, histerese e solicitações automáticas de cortinas, exaustor e sombrites, apoiando a estabilidade do microclima interno.



Fig. 8. Foto da tela de motores da IHM no TIA Portal.

A tela de motores reúne comandos e feedbacks dos sombrites, cortinas laterais e exaustor, incluindo fins de curso e indicações de retorno dos atuadores.



Fig. 9. Foto da tela de led grow da IHM no TIA Portal.

A tela do LED Grow permite habilitar, comandar e programar a iluminação suplementar em dois períodos, além de exibir status e feedback do sistema.



Fig. 10. Foto da tela de alarmes da IHM no TIA Portal.

A tela de alarmes centraliza ocorrências, criticidade, horário, reconhecimento, reset e histórico, auxiliando a operação e a manutenção do sistema.

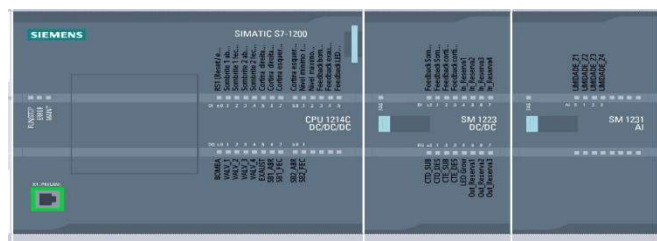


Fig. 11. Foto dos hardwares no TIA Portal (CLP e Módulos de Expansão).

A figura apresenta a configuração de hardware no TIA Portal, com CLP S7-1200 CPU 1214C e módulos de expansão, servindo de base para o mapeamento dos sinais de campo.

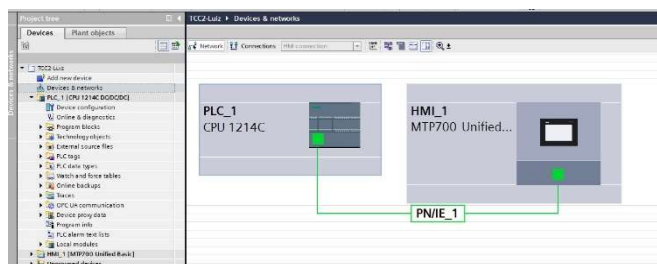


Fig. 12. Foto da rede profinet entre CLP e IHM no TIA Portal.

A figura demonstra a comunicação PROFINET entre CLP e IHM, permitindo troca de dados, comandos, setpoints e supervisão de alarmes.

D. Lógica de controle e modos de operação

A lógica de controle foi estruturada em ciclo contínuo. Em cada varredura, o CLP lê sensores, compara os valores com os setpoints da IHM, verifica permissões e intertravamentos e, somente então, aciona ou bloqueia algum equipamento. Essa sequência torna o sistema mais simples de compreender, programar e manter.

Na irrigação, cada zona possui seu próprio sensor de umidade. Quando a umidade fica abaixo do limite configurado, o CLP solicita irrigação para a zona correspondente. Antes de ligar a bomba e abrir a válvula, o sistema verifica o nível mínimo do reservatório, a ausência de emergência e a habilitação da zona. A irrigação é encerrada por retorno da umidade à faixa desejada ou por tempo máximo de segurança.

No controle climático, o sistema trabalha em níveis. A primeira resposta ao aumento de temperatura é a abertura das cortinas. Se a temperatura permanecer elevada, o exaustor é acionado. Caso a condição crítica continue, os sombrites podem ser fechados. A lógica utiliza histerese para evitar acionamentos repetitivos e busca reduzir picos térmicos, melhorar a ventilação e estabilizar o microclima interno da estufa.

A lógica no CLP foi organizada em blocos funcionais no TIA Portal, usando SCL, FBD e Ladder para separar sensores, nível, irrigação, clima, motores, LED Grow, alarmes, IHM e supervisão remota, facilitando testes e futuras expansões.

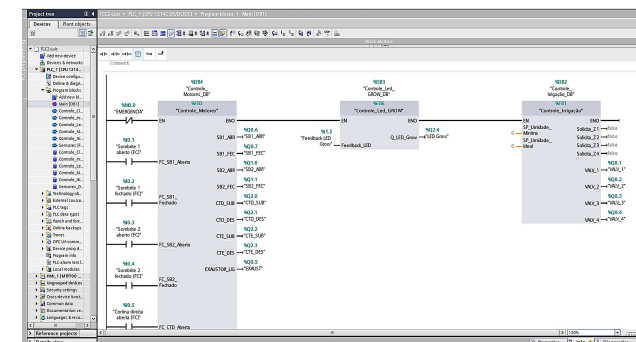


Fig. 13. Foto da OB1 Network 1 no TIA Portal.

A Figura 13 apresenta a primeira rede do OB1, com chamadas dos principais blocos funcionais, concentrando a execução das rotinas em uma estrutura organizada.

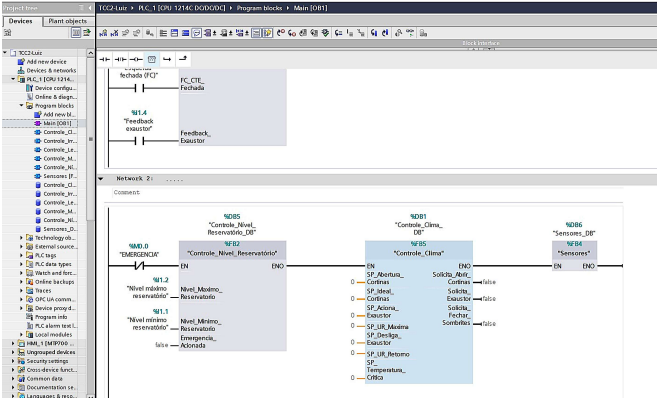


Fig. 14. Foto da OB1 Network 2 no TIA Portal.

A Figura 14 demonstra a continuidade da organização modular do OB1, com blocos de nível, clima e sensores, facilitando ajustes e manutenção.

QUADRO I

Modos de operação do sistema

Modo	Descrição	Proteções mantidas
Automático	Controle por sensores, setpoints e lógica do CLP	Todas as proteções
Manual	Comandos individuais pela IHM para testes	Emergência, nível, fins de curso e bloqueios
Manutenção	Bloqueio dos comandos automáticos para intervenção técnica	Emergência e bloqueios principais

O Quadro I apresenta os modos automático, manual supervisionado e manutenção, mantendo proteções essenciais mesmo durante testes e intervenções.

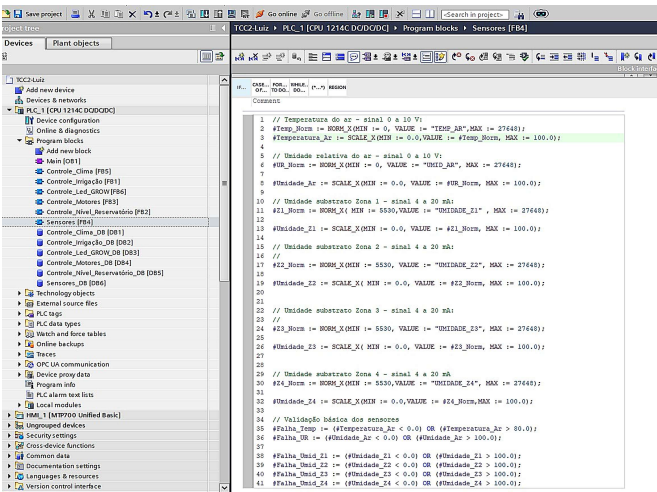


Fig. 15. Foto do bloco de função “Sensores” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 15 apresenta o bloco de sensores, responsável por normalizar e escalar sinais analógicos de temperatura, umidade relativa e umidade do substrato.

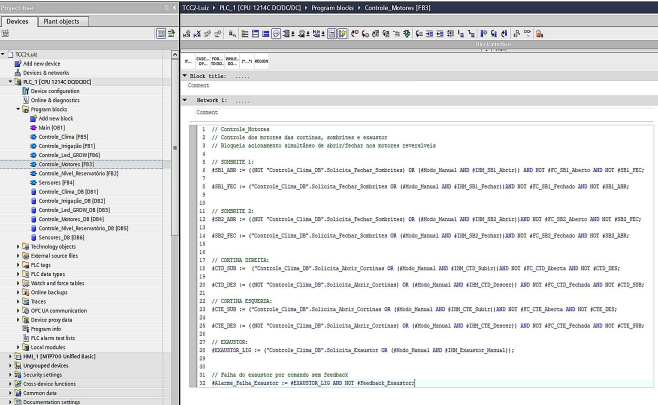


Fig. 16. Foto do bloco de função “Controle Motores” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 16 apresenta o bloco de motores, que reúne comandos de sombrites, cortinas e exaustor, considerando permissões, fins de curso e bloqueios.

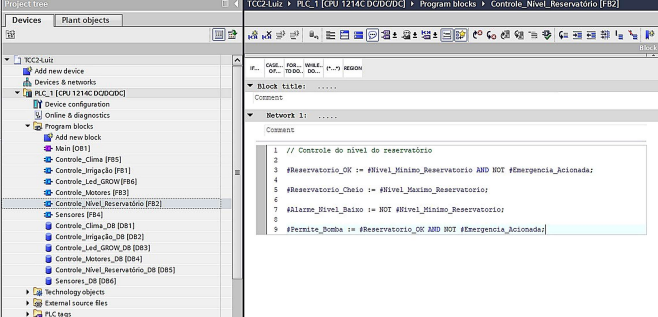


Fig. 17. Foto do bloco de função “Controle Nivel Reservatorio” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 17 apresenta o bloco de nível do reservatório, usado para liberar ou bloquear a bomba conforme as condições de nível e emergência.

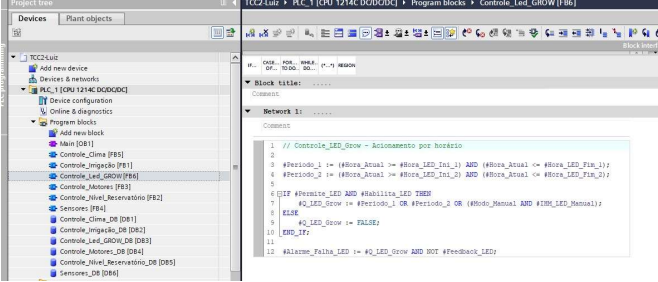


Fig. 18. Foto do bloco de função “Led Grow” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 18 apresenta o bloco do LED Grow, com acionamento automático por horário, comando manual supervisionado, habilitação e feedback.

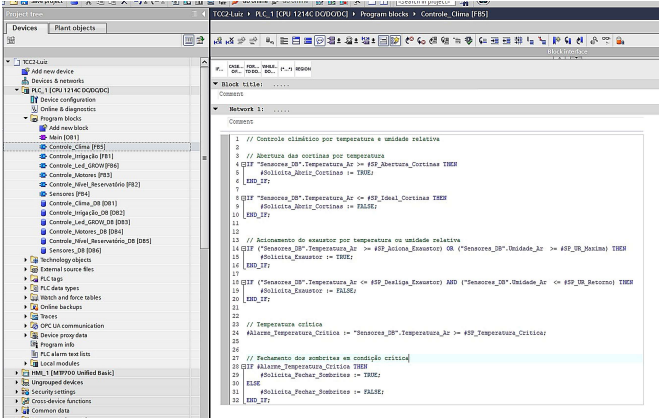


Fig. 19. Foto do bloco de função “Controle Clima” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 19 apresenta o bloco de clima, que compara temperatura e umidade relativa com os setpoints da IHM para solicitar cortinas, exaustor e sombrites, utilizando histerese para evitar acionamentos repetitivos.

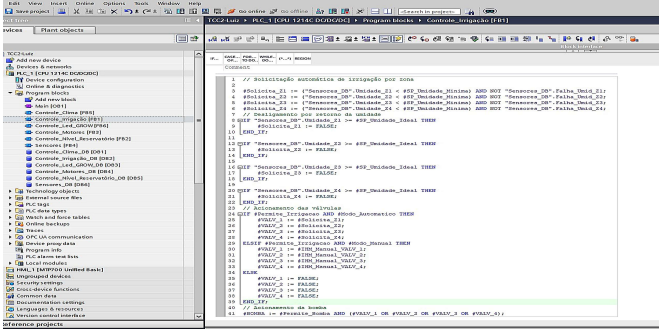


Fig. 20. Foto do bloco de função “Controle Irrigação” desenvolvido no TIA Portal.

A Figura 20 apresenta o bloco de irrigação, que compara a umidade de cada zona com os setpoints da IHM e aciona bomba e válvulas somente com permissões de segurança atendidas.

QUADRO II

Alarmes previstos no sistema

Alarme	Condição de ativação	Ação
Emergência acionada	Botão de emergência pressionado	Bloqueia atuadores principais
Nível baixo	Reservatório mínimo	Bloqueia bomba de irrigação
Temperatura crítica	Temperatura > limite configurado	Prioriza ventilação e sombreamento
Umidade relativa alta	UR > limite	Aciona ventilação
Falha de sensor	Sinal fora da faixa esperada	Bloqueia controle automático associado
Falha de cortina/sombrite	Fim de curso não atingido no tempo máximo	Desliga motor e gera alarme
Falha de bomba/exaustor	Comando sem retorno esperado	Gera alarme para o operador

O Quadro II apresenta alarmes voltados à segurança, proteção dos equipamentos e orientação do operador em condições como emergência, nível baixo, falha de sensor e ausência de retorno.

VI. INSTRUMENTAÇÃO, HARDWARE E MAPEAMENTO DE I/OS

A. Equipamentos previstos e componentes reais

Os equipamentos foram definidos conforme as necessidades da estufa de 50 m x 10 m. O núcleo de controle é formado por CLP Siemens S7-1200 CPU 1214C, módulo digital SM 1223, módulo analógico SM 1231 e IHM Unified MTP700 para operação local, supervisão e ajuste de parâmetros [9], [10].

Na instrumentação de campo, o MAS-1 foi adotado para umidade do substrato, com saída 4-20 mA e faixa compatível com as entradas analógicas do sistema [24].

Para temperatura e umidade relativa do ar, foi considerado o transmissor HFT10 DT3, com saída 0 a 10 V e integração direta às entradas analógicas do CLP [25].

Entre os atuadores e dispositivos auxiliares, foram considerados bomba existente, exaustor axial, motores tubulares 20 N·m, válvulas solenoides, LED Grow, roteador VPN, botão de emergência, fonte 24 Vcc, relés, contadores, disjuntores, bornes e sensores de nível [21], [22], [23], [34], [35], [36], [37]. As Figuras 21 a 32 apresentam os principais componentes de controle, sensoriamento, atuação, proteção e comunicação.



Fig. 21. Foto da bomba WEG/Famac existente.

A bomba WEG/Famac existente, 220 V e 0,75 CV, foi mantida como responsável pelo envio de água à linha principal de irrigação e integrada ao CLP por circuito de comando e potência.



Fig. 22. Foto do botão de emergência Siemens.

O botão de emergência foi previsto para interromper os atuadores principais e bloquear bomba, motores, exaustor, válvulas e LED Grow em situação de risco.



Fig. 23. Foto do CLP 1214C Siemens.

O CLP Siemens S7-1200 CPU 1214C foi definido como núcleo de controle, responsável pela leitura de sensores, execução da lógica, acionamento dos atuadores e comunicação com a IHM.



Fig. 24. Foto do módulo de expansão SM 1223 Siemens.

O módulo SM 1223 amplia as entradas e saídas digitais para fins de curso, feedbacks, sensores de nível e comandos dos atuadores.



Fig. 25. Foto do módulo de expansão SM 1231 AI Siemens.

O módulo SM 1231 AI amplia a leitura de sinais analógicos, especialmente dos sensores de umidade do substrato das zonas de irrigação.

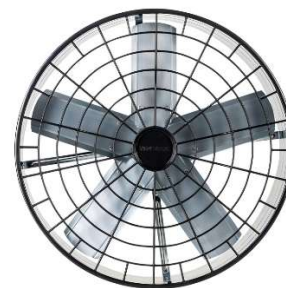


Fig. 26. Foto exaustor axial.

O exaustor axial foi previsto para renovar o ar interno e apoiar o controle climático, atuando junto às cortinas e sombrites para reduzir picos térmicos e estabilizar o microclima.



Fig. 27. Foto do sensor de umidade do substrato MAS-1.

O sensor MAS-1 mede a umidade do substrato em cada zona e envia sinal 4-20 mA ao CLP, permitindo irrigação individualizada conforme os setpoints da IHM.



Fig. 28. Foto do motor tubular de 20 N-m.

O motor tubular de 20 N-m foi adotado para cortinas e sombrites. Considerando $T = F \cdot r$ e raio aproximado de 0,04 m, a capacidade teórica fica próxima de 50 kg em condição ideal; porém atrito, vento e desalinhamentos reduzem a capacidade efetiva, mantendo o valor como dimensionamento preliminar.



Fig. 29. Foto do quadro metálico.

O quadro metálico acomoda CLP, módulos, fonte, contadores, relés, bornes, disjuntores e roteador, protegendo e organizando os circuitos de comando e potência.



Fig. 30. Foto do roteador VPN Delta.

O roteador VPN Delta foi previsto para acesso remoto seguro à IHM e ao CLP, permitindo supervisão por Web Server e acompanhamento de variáveis e alarmes.



Fig. 31. Foto do sensor de temperatura e umidade relativa do ar 0-10 V.

O sensor de temperatura e umidade relativa do ar fornece sinal 0-10 V ao CLP para controle de ventilação, cortinas, sombrites e exaustor.



Fig. 32. Foto do sensor capacitivo para níveis.

O sensor capacitivo de nível monitora o reservatório, liberando a bomba apenas quando há condição segura de água e contribuindo para a proteção da irrigação [35].

B. Mapeamento de entradas e saídas

O mapeamento de I/Os preserva os endereços definidos no TIA Portal. A CPU 1214C recebe os sinais principais, enquanto os módulos SM 1223 e SM 1231 expandem sinais digitais e analógicos.

QUADRO III

Mapeamento de entradas analógicas

End.	Tag	Variável	Tipo	Função
IW64	TEM-P_AR	Temperatura do ar	0-10 V	Controle climático
IW66	UMID_AR	Umidade relativa do ar	0-10 V	Controle de ventilação
IW68	UMID_Z1	Umidade substrato Zona 1	4-20 mA	Irrigação Z1
IW70	UMID_Z2	Umidade substrato Zona 2	4-20 mA	Irrigação Z2
IW72	UMID_Z3	Umidade substrato Zona 3	4-20 mA	Irrigação Z3
IW74	UMID_Z4	Umidade substrato Zona 4	4-20 mA	Irrigação Z4

O Quadro III apresenta as entradas analógicas de temperatura, umidade relativa e umidade do substrato das zonas Z1 a Z4.

QUADRO IV

Mapeamento de entradas digitais

Endereço	Tag	Descrição
I0.0	RS1	Reset / emergência
I0.1	Sombrite 1 aberto	Fim de curso sombrite 1 aberto
I0.2	Sombrite 1 fechado	Fim de curso sombrite 1 fechado
I0.3	Sombrite 2 aberto	Fim de curso sombrite 2 aberto
I0.4	Sombrite 2 fechado	Fim de curso sombrite 2 fechado
I0.5	Cortina direita aberta	Fim de curso cortina direita aberta
I0.6	Cortina direita fechada	Fim de curso cortina direita fechada
I0.7	Cortina esquerda aberta	Fim de curso cortina esquerda aberta
I1.0	Cortina esquerda fechada	Fim de curso cortina esquerda fechada
I1.1	Nível mínimo reservatório	Permissão para bomba
I1.2	Nível máximo reservatório	Monitoramento do reservatório
I1.3	Feedback bomba	Contador da bomba acionado
I1.4	Feedback exaustor	Contador do exaustor acionado
I1.5	Feedback LED Grow	Contador do LED Grow acionado

I2.0	Feedback Sombrite 1	Retorno do acionamento
I2.1	Feedback Sombrite 2	Retorno do acionamento
I2.2	Feedback cortina direita	Retorno do acionamento
I2.3	Feedback cortina esquerda	Retorno do acionamento

O Quadro IV apresenta entradas digitais de segurança, fins de curso, nível do reservatório e feedbacks dos atuadores.

QUADRO V

Mapeamento de saídas digitais

Endereço	Tag	Atuador/Função
Q0.0	BOMBA	Bomba de irrigação
Q0.1	VALV_1	Válvula solenoide Zona 1
Q0.2	VALV_2	Válvula solenoide Zona 2
Q0.3	VALV_3	Válvula solenoide Zona 3
Q0.4	VALV_4	Válvula solenoide Zona 4
Q0.5	EXAUST	Exaustor axial
Q0.6	SB1_ABR	Sombrite 1 abrir
Q0.7	SB1_FEC	Sombrite 1 fechar
Q1.0	SB2_ABR	Sombrite 2 abrir
Q1.1	SB2_FEC	Sombrite 2 fechar
Q1.2	CTD_SUB	Cortina direita subir
Q1.3	CTD_DES	Cortina direita descer
Q1.4	CTE_SUB	Cortina esquerda subir
Q1.5	CTE_DES	Cortina esquerda descer
Q2.0	LED Grow	Conjunto de LEDs
Q2.5-Q2.7	Reserva	Expansão futura

O Quadro V apresenta as saídas digitais para bomba, válvulas, exaustor, motores de cortinas/sombrites, LED Grow e pontos de reserva.

C. Parâmetros iniciais de operação

Os valores representados inicialmente são pontos de partida para a programação, considerando plantas adultas em fase produtiva. Eles não devem ser entendidos como valores definitivos para todas as fases do morangueiro, pois precisam ser ajustados conforme cultivar, fase da planta, estação do ano, orientação técnica e comportamento real da estufa.

QUADRO VI

Parâmetros iniciais de operação

Variável	Valor inicial	Função no sistema
Abertura das cortinas	26 °C	Favorecer ventilação natural
Acionamento do exaustor	28 °C	Reduzir picos térmicos
Retorno do exaustor	25 °C	Evitar acionamentos repetitivos
Temperatura crítica	32 °C	Priorizar ventilação e sombreamento

Umidade relativa máxima	80%	Solicitar ventilação
Umidade relativa de retorno	70%	Desligar ventilação por umidade
Umidade mínima do substrato	35%	Solicitar irrigação
Faixa desejada do substrato	45% a 60%	Referência de manejo hídrico
Tempo máximo de irrigação por zona	10 min	Proteção contra falha de sensor/válvula
Tempo máximo de cortinas	60 s	Proteção contra travamento mecânico
Tempo máximo de sombrites	60 s	Proteção contra travamento mecânico
LED Grow - primeiro período	05h30 às 08h00	Suplementação no início do dia
LED Grow - segundo período	17h30 às 20h00	Complemento de luminosidade

O Quadro VI reúne os setpoints e limites de segurança utilizados para ventilação, sombreamento, exaustor, irrigação e proteção dos atuadores.

Os valores de temperatura foram adotados como referência inicial, pois a literatura indica faixa favorável próxima de 12 °C a 25 °C e maior necessidade de manejo acima de 27 °C ou 28 °C [5], [6].

A umidade do substrato foi tratada como referência inicial, pois depende do substrato, drenagem, cultivar, fase da planta e calibração do sensor. Assim, a faixa de 45% a 60% deve ser validada em campo [1], [3], [14], [27], [28], [29], [31].

D. Estimativa realista de custo

A estimativa de custo considera os componentes comerciais levantados, incluindo cinco sensores MAS-1, sendo quatro em operação e um como reserva técnica. A bomba não foi somada ao investimento por já existir na estufa.

QUADRO VII

Estimativa realista de custo dos componentes

Item	Qtd.	Valor	Valor total
CLP Siemens S7-1200 CPU 1214C	1	R\$ 4.000,00	R\$ 4.000,00
Módulo digital SM 1223 DI/DQ	1	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
Módulo analógico	1	R\$ 2.300,00	R\$ 2.300,00

SM 1231 AI4			
IHM Siemens Unified Basic MTP700	1	R\$ 5.500,00	R\$ 5.500,00
Fonte chaveada 24 Vcc	1	R\$ 350,00	R\$ 350,00
Sensor HFT10 DT3 T/UR 0-10 V	1	R\$ 636,55	R\$ 636,55
Sensor MAS-1 umidade 4-20 mA	5	R\$ 2.223,00	R\$ 11.115,00
Sensor de nível do reservatório	2	R\$ 230,00	R\$ 460,00
Válvulas solenoides de irrigação	4	R\$ 180,00	R\$ 720,00
Bomba WEG/FAMA C existente na estufa	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Exaustor axial	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Motores tubulares 20 N.m	4	R\$ 450,00	R\$ 1.800,00
Conjunto LED Grow	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Botão de emergência e comandos	1 conjunto	R\$ 250,00	R\$ 250,00
Relés, contadores, bornes e interfaces	1 conjunto	R\$ 2.200,00	R\$ 2.200,00
Disjuntores e proteções	1 conjunto	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Quadro metálico e acessórios	1 conjunto	R\$ 1.800,00	R\$ 1.800,00
Roteador VPN industrial Delta	1	R\$ 1.200,00	R\$ 1.200,00
Cabos,	1 conjunto	R\$	R\$

conectores e miscelâneas		1.500,00	1.500,00
TOTAL ESTIMADO			R\$ 38.631,55

E. Estimativa de retorno e payback

Para estimar o retorno do investimento, utilizou-se como referência o valor de venda informado pela ED Agrícola, entre R\$ 30,00 e R\$ 35,00 por quilograma de morango [13]. Como o sistema ainda não foi implantado em campo, a análise foi feita por cenários, considerando que a automação pode gerar retorno por aumento de produção comercializável, redução de perdas, melhoria de qualidade ou preservação de frutos que seriam perdidos por falhas de manejo.

A estufa analisada possui dimensões aproximadas de 50 m x 10 m, totalizando cerca de 500 m². Essa área foi usada como referência para contextualizar a escala produtiva e relacionar o payback com a quantidade de morango adicional ou preservada necessária para compensar o investimento.

QUADRO VIII

Quantidade de morango necessária para compensar o investimento

Preço de venda	Investimento estimado	Quantidade necessária
R\$ 30,00/kg	R\$ 38.631,55	1.280 kg
R\$ 32,50/kg	R\$ 38.631,55	1.182 kg
R\$ 35,00/kg	R\$ 38.631,55	1.097 kg

QUADRO IX-A

Simulação de payback bruto - cenários de R\$ 30,00/kg e R\$ 32,50/kg

Ganho mensal	R\$ 30/kg	Payback	R\$ 32,50/kg	Payback
50 kg/mês	R\$ 1.500,00	25,6 meses	R\$ 1.625,00	23,6 meses
75 kg/mês	R\$ 2.250,00	17,1 meses	R\$ 2.437,50	15,8 meses
100 kg/mês	R\$ 3.000,00	12,8 meses	R\$ 3.250,00	11,8 meses
150 kg/mês	R\$ 4.500,00	8,5 meses	R\$ 4.875,00	7,9 meses
200 kg/mês	R\$ 6.000,00	6,4 meses	R\$ 6.500,00	5,9 meses

QUADRO IX-B

Simulação de payback bruto - cenário de R\$ 35,00/kg

Ganho mensal	Receita R\$ 35/kg	Payback
50 kg/mês	R\$ 1.750,00	21,9 meses
75 kg/mês	R\$ 2.625,00	14,6 meses
100 kg/mês	R\$ 3.500,00	11,0 meses
150 kg/mês	R\$ 5.250,00	7,3 meses
200 kg/mês	R\$ 7.000,00	5,5 meses

QUADRO X-A

Simulação de payback líquido com margem estimada de 50% - cenários de R\$ 30,00/kg e R\$ 32,50/kg

Ganho mensal	Lucro R\$ 30/kg	Payback	Lucro R\$ 32,50/kg	Payback
50 kg/mês	R\$ 750,00	51,2 meses	R\$ 812,50	47,3 meses
75 kg/mês	R\$ 1.125,0 0	34,1 meses	R\$ 1.218,75	31,5 meses
100 kg/mês	R\$ 1.500,0 0	25,6 meses	R\$ 1.625,00	23,6 meses
150 kg/mês	R\$ 2.250,0 0	17,1 meses	R\$ 2.437,50	15,8 meses
200 kg/mês	R\$ 3.000,0 0	12,8 meses	R\$ 3.250,00	11,8 meses

QUADRO X-B

Simulação de payback líquido com margem estimada de 50% - cenário de R\$ 35,00/kg

Ganho mensal	Lucro R\$ 35/kg	Payback
50 kg/mês	R\$ 875,00	43,9 meses
75 kg/mês	R\$ 1.312,50	29,3 meses
100 kg/mês	R\$ 1.750,00	21,9 meses
150 kg/mês	R\$ 2.625,00	14,6 meses
200 kg/mês	R\$ 3.500,00	11,0 meses

A análise indica que o retorno depende da quantidade de fruta adicional ou preservada. No cenário intermediário, com 100 kg/mês e preço médio de R\$ 32,50/kg, o payback bruto seria de aproximadamente 11,8 meses; com margem líquida de 50%, ficaria próximo de 23,6 meses.

A simulação de payback é preliminar e não considera manutenção, reposição de sensores, depreciação, energia, calibração, instalação e demais custos operacionais. Portanto, não deve ser interpretada como comprovação definitiva de retorno financeiro.

VII. ANÁLISE DA SOLUÇÃO PROPOSTA

Do ponto de vista técnico, projeta-se que o sistema contribua para estabilizar o microclima da estufa de aproximadamente 500 m², com leitura contínua de temperatura e umidade relativa e acionamento de ventilação, cortinas e sombrites conforme setpoints da IHM. Como a solução ainda não foi implantada em campo, esses efeitos são benefícios projetados, não resultados experimentais comprovados [6], [7], [8].

Na irrigação, projeta-se melhor uniformidade entre setores, pois cada zona possui sensor próprio e passa a responder à condição real do substrato, alinhando-se a trabalhos de automação hídrica em cultivos protegidos [15], [16], [17], [18].

Outro benefício projetado é a redução da intervenção manual em tarefas repetitivas, mantendo o produtor como responsável pelo acompanhamento da cultura e pelos ajustes de manejo.

Do ponto de vista econômico, o retorno depende da produção comercializável, da redução de perdas, da margem líquida, da manutenção e da vida útil dos equipamentos.

VIII. CONCLUSÕES

O trabalho estruturou uma proposta de automação para uma estufa de morangos de aproximadamente 50 m x 10 m (500 m²), aplicando CLP, IHM, sensores, atuadores, alarmes, intertravamentos e supervisão remota.

A principal contribuição está na integração dos subsistemas de irrigação, ventilação, cortinas, sombrites, LED Grow e supervisão local/remota em uma arquitetura única centralizada no CLP.

O levantamento de I/Os justificou o uso de módulos de expansão e mostrou a importância de alarmes e intertravamentos para proteger bomba, motores, atuadores e operador.

A estimativa econômica indicou investimento aproximado de R\$ 38.631,55. Considerando o preço informado de R\$ 30,00 a R\$ 35,00/kg, seria necessário compensar entre 1.097 kg e 1.280 kg de morango para recuperar o investimento em receita bruta.

Como limitação, o trabalho permanece em nível de projeto, sem validação em campo. Os parâmetros consideram plantas adultas em fase produtiva, sem receitas específicas para mudas, crescimento vegetativo, floração e frutificação. Como trabalhos futuros, recomenda-se incluir receitas por fase fenológica, sensores adicionais, histórico de dados, dashboard web e comparação real entre manejo manual e automatizado.

Conclui-se que a automação proposta é tecnicamente viável e pode apoiar a tomada de decisão, reduzir a variabilidade operacional e tornar o cultivo protegido mais

previsível, desde que implantada e validada conforme a realidade econômica do produtor.

IX. REFERÊNCIAS

- [1] PEIL, R. M. N.; DUTRA, J. G.; SILVEIRA, C. A. P.; ANTUNES, L. E. C. Cultivo do morangueiro em substrato com recirculação da solução drenada. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2024. 20 p. (Circular Técnica, 253). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1173277>. Acesso em: 03 fev. 2026.
- [2] EMBRAPA. Sistema de produção do morango. Sistemas de Produção, 5. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/744878>. Acesso em: 03 fev. 2026.
- [3] GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G. K. Produção de morango fora do solo. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2016. (Documentos, 410). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1048342/1/Documento410.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2026.
- [4] ALMEIDA, I. R. de; STEINMETZ, S.; ANTUNES, L. E. C.; FILIPPINI ALBA, J. M.; MATZENAUER, R.; RADIN, B. Zoneamento agroclimático para produção de morango no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/748261>. Acesso em: 12 fev. 2026.
- [5] MADAIL, J. C. M.; ANTUNES, L. E. C. Avaliação econômica dos sistemas de produção de morango: convencional, integrado e orgânico. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. (Comunicado Técnico, 181). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/746072>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- [6] HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C. Microclimatic changes caused by different plastic coverings in greenhouses cultivated with cherry tomato in southern Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 2, p. 125-134, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/rbmet/a/6tTN4Xtv7tpp7cverDhpywv/>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- [7] COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Medidas radiométricas em casas de vegetação com cobertura plástica na região de Campinas-SP. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 3, p. 448-457, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/3RgtBFhMJw6KDZD8tHYd76k/>. Acesso em: 03 mar. 2026.
- [8] FERRARI, D. L.; LEAL, P. A. M. Uso de tela termorrefletora em ambientes protegidos para cultivo do tomateiro. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 2, p. 180-191, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/7Kf4cDDTsftvtxN3pkwm8fQp/>. Acesso em: 05 mar. 2026.

- [9] SIEMENS. SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC: controlador modular, compacto e escalável. Siemens Industry Mall / Siemens Brasil. Disponível em: <https://sieportal.siemens.com/pt-br/products-services/detail/6ES7214-1AG40-0XB0?tree=CatalogTree>. Acesso em: 15 maio 2026.
- [10] SIEMENS. SIMATIC HMI MTP700 Unified Basic: painel de operação — 6AV2123-3GB32-0AW0. Siemens Industry Mall / Siemens Brasil. Disponível em: <https://sieportal.siemens.com/pt-br/products-services/detail/6AV2123-3GB32-0AW0?tree=CatalogTree#overview>. Acesso em: 16 maio 2026.
- [11] SIEMENS. TIA Portal — Totally Integrated Automation Portal. Siemens Brasil. Disponível em: <https://www.siemens.com/pt-br/products/tia-portal/>. Acesso em: 18 maio 2026.
- [12] SIEMENS. SIMATIC PROFINET System Description. Siemens AG, 2012. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/127/19292127/att_69558/v1/profinet_system_description_en-US_en-US.pdf. Acesso em: 20 maio 2026.
- [13] ED AGRÍCOLA. Informação verbal sobre preço médio de comercialização do morango. Entrevista concedida ao autor. Panambi, 2026.
- [14] SENAR-PR. Cultivo do morangueiro em substrato. Curitiba: Sistema FAEP/SENAR-PR, 2021. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0318-Cultivo-Morangueiro-Substrato_web.pdf. Acesso em: 10 fev. 2026.
- [15] SANTOS, L. B. Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos produtores. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação) — Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/5938>. Acesso em: 02 abr. 2026.
- [16] BRAGA, F. L.; LEAL JÚNIOR, R. P.; SANTOS, M. R. Automação no agronegócio de pequeno porte: automatização da irrigação em cultivo de morango. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8206/1/CT_COEAU_2019_1_08.pdf. Acesso em: 08 abr. 2026.
- [17] BONFIM, F. F. et al. Irrigação automatizada para cultivo de morango. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso — Centro Paula Souza, Garça, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/14469/1/IRRI GA%C3%87%C3%83O%20AUTOMATIZADA%20PARA%20CULTIVO%20DE%20MORANGO.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- [18] ZAMPIERI, A. et al. Automação de irrigação e adubação de estufa agrícola com controlador lógico programável: cultivo sustentável e eficiente. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2024. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/35613>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- [19] LIMA, G. C. et al. Enabling agriculture digital transformation through IoT. Revista Ciência Agronômica, v. 51, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/rca/a/DVtW6Gqn88LZ7KSrMG8TnJh/>. Acesso em: 08 maio 2026.
- [20] ZANUTO, A. H. S. Agricultura 4.0: desafios e impactos das tecnologias digitais na produção agrícola. 2024. Trabalho acadêmico — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/44031/1/Agric ulturaDesafiosImpactos.pdf>. Acesso em: 12 maio 2026.
- [21] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-10: segurança em instalações e serviços em eletricidade. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. Acesso em: 26 maio 2026.
- [22] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-12: segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 28 maio 2026.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Versão corrigida, 2008. Disponível em: <https://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5410.pdf>. Acesso em: 30 maio 2026.
- [24] METER GROUP LATAM LTDA. MAS-1: sensor de umidade 4–20 mA. São José dos Campos: Meter Group Latam, 2026. Proposta comercial n. 19096-1, 15 abr. 2026. Disponível em: <https://addium.com.br/meter/produtos/mas1/>. Acesso em: 04 jun. 2026.
- [25] LIOHM INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE SENSORES LTDA. HFT10 DT3: transmissor de temperatura e umidade com saída 0 a 10 V. São Paulo: Liohm, 2026. Orçamento n. 24.019/0, 22 abr. 2026. Disponível em: <https://www.liohm.com.br/produto/hft-transmissor-de-umidade-e-temperatura-saida-0-10v-2x24-awg-temperatura-e-umidade-saida-0-10v/assistencia-tecnica/>. Acesso em: 05 jun. 2026.
- [26] ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (ed.). Morangueiro. Brasília, DF: Embrapa; Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092843>. Acesso em: 04 fev. 2026.
- [27] GODOI, R. S. dos; ANDRIOLO, J. L.; JÄNISCH, D. I.; CARDOSO, F. L.; VAZ, M. A. B. Produção e qualidade do morangueiro em sistemas fechados sem solo. Ciência Rural, v. 39, n. 4, p. 1039-1044, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/dYf574HGyxwtzH4PgQQ7szf/>. Acesso em: 12 mar. 2026.

[28] ANDRIOLO, J. L.; JÄNISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; VAZ, M. A. B.; CARDOSO, F. L.; ERPEN, L. Cultivo sem solo do morangueiro com três métodos de fertirrigação. *Ciência Rural*, v. 39, n. 3, p. 691-695, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/d38vZTBcGCmnkgk77k4Dr9S/>. Acesso em: 18 mar. 2026.

[29] GIMÉNEZ, G.; ANDRIOLO, J. L.; GODOI, R. S. Cultivo sem solo do morangueiro. *Ciência Rural*, v. 38, n. 1, p. 273-279, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/MztLr3hy6QRjpnYskh5LVqf/>. Acesso em: 24 mar. 2026.

[30] FAUSTINO, E. J. S.; SANTOS, L. F. B. dos. Estufa automatizada. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso — Faculdade de Tecnologia de Garça, Garça, 2022. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/7412/1/Mecatr%C3%B4nica_%202021_1_Elian%20Jos%C3%A9%20Da%20Silva%20Faustino%3B%20Luis%20Felipe%20Batista%20Dos%20Santos_Estufa%20automatizada.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

[31] PIRES, R. C. M. et al. Irrigação do morangueiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 236, p. 50-55, jan./fev. 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/654603/1/ia-236-1-52-65.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2026.

[32] FISCHBORN, M. Automação de estufa com Arduino. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2025. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/39424/2/automaestufaarduino.pdf>. Acesso em: 06 maio 2026.

[33] RODRIGUES, D. H. E. Projeto e desenvolvimento de sistema de automação para microcervejarias. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso — Instituto Federal Farroupilha, Campus Panambi, Panambi, 2025. Disponível em: <https://arandu.iffarroupilha.edu.br/jspui/bitstream/itemid/769/1/Artigo%20Denner%20Henrique%20Egger%20Rodrigues.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2026.

[34] DELTA ELECTRONICS BRASIL. Roteadores IIoT. Delta Electronics Brasil. Disponível em: <https://delta-electronics.com.br/produtos/roteadores-iiot/>. Acesso em: 22 maio 2026.

[35] CERT.br. Trabalho remoto: Cartilha de Segurança para Internet. São Paulo: NIC.br, 2023. Disponível em: <https://cartilha.cert.br/fasciculos/trabalho-remoto/fasciculo-trabalho-remoto.pdf>. Acesso em: 24 maio 2026.

[36] IFM ELECTRONIC. KQ5100: sensor capacitivo — ficha técnica. IFM Electronic, 2025. Disponível em: https://media.ifm.com/dam/93a95edc-825f-4e4f-a1b1-7b3a9d48ef09/Original/KQ5100-01_PT-BR.pdf. Acesso em: 06 jun. 2026.

[37] SIEMENS. SIRIUS 3RT contactors/contactors assemblies: equipment manual. Siemens AG, 2022.

Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/60306557/equipment-manual-sirius-3rt-contactors-contactor-assemblies>. Acesso em: 08 jun. 2026.

X. DADOS BIOGRÁFICOS

Luiz Gustavo Dessbesell de Castro, natural de Caxias do Sul – RS, é Técnico em Automação e acadêmico do curso de Tecnologia em Automação Industrial pelo Instituto Federal Farroupilha – Campus Panambi. Possui experiência em programação de CLPs em linguagens Ladder, SCL e FBD, com atuação em diferentes plataformas de automação. Também possui vivência com partidas, inversores de frequência, softstarters, intertravamentos, sistemas supervisórios e redes industriais, como PROFINET, Ethernet/IP, Modbus TCP/RTU e CANopen.