

CLIMATIZADOR INDUSTRIAL AUTOMATIZADO

Emerson Honório de Oliveira, Erica Aparecida Alves, Jaksso Rodrigues de Sousa, Saulo Alves de Lima, Marcos Vagner Zamboni

Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo

emerson.oliveira59@fatec.sp.gov.br, erica.alves2@fatec.sp.gov.br, Jaksso.sousa@fatec.sp.gov.br,
saulo.lima5@fatec.sp.gov.br, marcos.zamboni@fatec.sp.gov.br

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de climatização industrial automatizado voltado ao monitoramento e controle das variáveis de temperatura e umidade em ambientes fabris. A proposta surgiu da necessidade de minimizar os impactos causados pelo excesso de calor em indústrias, fator que compromete a produtividade, a segurança dos trabalhadores e a durabilidade dos equipamentos. A metodologia adotada foi o Design Science Research (DSR), utilizada para orientar a identificação do problema, a definição dos objetivos e o desenvolvimento do artefato tecnológico. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador PIC16F877A, sensores LM35 e DHT11, relés eletromecânicos, módulo Peltier e ventiladores, integrados por meio de uma lógica de controle embarcada do tipo *ON/OFF*. Inicialmente, o circuito foi modelado e testado no software Proteus, permitindo a validação do funcionamento antes da implementação física. Os resultados demonstraram que o sistema foi capaz de monitorar continuamente as variáveis ambientais e acionar automaticamente os dispositivos de climatização conforme os limites configurados, apresentando funcionamento estável e eficiente. Além disso, o protótipo mostrou potencial para futuras expansões, incluindo integração com Internet das Coisas (IoT), armazenamento de dados e utilização de técnicas avançadas de controle. Conclui-se que o projeto atingiu os objetivos propostos, demonstrando a viabilidade técnica de sistemas automatizados de climatização industrial como alternativa para melhoria das condições ambientais, eficiência operacional e sustentabilidade no setor industrial.

Palavras-chave: climatização industrial; automação industrial; sistema embarcado; controle de temperatura; eficiência energética.

Abstract

This paper presents the development of an automated industrial air conditioning system designed to monitor and control temperature and humidity variables in industrial environments. The proposal emerged from the need to minimize the impacts caused by excessive heat in industries, a factor that directly affects productivity, worker safety, and equipment durability. The methodology adopted was Design Science Research (DSR), used to guide problem identification, objective definition, and the development of the technological artifact. The system was developed using the PIC16F877A microcontroller, LM35 and DHT11 sensors, electromechanical relays, a Peltier module, and cooling fans integrated through an ON/OFF embedded control logic. Initially, the electrical circuit was modeled and tested using Proteus software, allowing system validation before physical implementation. The results demonstrated that the system was capable of continuously monitoring environmental variables and automatically activating the air conditioning devices according to predefined limits, presenting stable and efficient operation. Furthermore, the prototype showed potential for future expansions, including Internet of Things (IoT) integration, data storage, and the implementation of advanced control techniques. It is concluded that the project achieved its proposed objectives, demonstrating the technical feasibility of automated industrial air conditioning systems as an alternative to improve environmental conditions, operational efficiency, and sustainability in the industrial sector.

Keywords: industrial air conditioning; industrial automation; embedded system; temperature control; energy efficiency.

1. Introdução

A elevação das temperaturas nos ambientes industriais tem se tornado um desafio crescente para diversos setores produtivos. Máquinas como extrusoras, injetoras e fornos operam continuamente e liberam grandes quantidades de calor, contribuindo para o aumento da temperatura interna e para a deterioração da qualidade do ar. Segundo relatórios internacionais, como os divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU), os efeitos do aquecimento global têm intensificado ainda mais esse cenário, tornando necessário o desenvolvimento de soluções tecnológicas que promovam conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade ambiental.

Ambientes industriais mal climatizados podem gerar impactos diretos na produtividade, na segurança e na saúde dos trabalhadores. Exposição prolongada ao calor excessivo reduz o desempenho físico e cognitivo, aumenta a probabilidade de falhas humanas e acelera o desgaste de equipamentos. Além disso, níveis elevados de umidade dificultam trocas térmicas, favorecem a corrosão e interferem no funcionamento de sensores, dispositivos eletrônicos e máquinas automatizadas. Assim, torna-se imprescindível adotar sistemas de climatização que sejam capazes de monitorar e controlar essas variáveis de forma precisa e confiável.

Nos últimos anos, soluções de climatização industrial têm evoluído significativamente, incorporando tecnologias modernas, sensores inteligentes, automação e estratégias voltadas à sustentabilidade. No entanto, muitos sistemas disponíveis no mercado apresentam baixo desempenho energético ou alto custo operacional, especialmente quando dependem exclusivamente da rede elétrica convencional. Em resposta a esse cenário, iniciativas que integram eficiência energética e fontes renováveis, como geração solar fotovoltaica, vêm ganhando destaque no ambiente industrial.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de climatização industrial capaz de monitorar e controlar temperatura e umidade, utilizando sensores, atuadores e um sistema de automação dedicado. A proposta contempla a criação de uma solução eficiente, sustentável e economicamente viável, alinhada às demandas contemporâneas da indústria. O desenvolvimento de um sistema de climatização inteligente permite não apenas melhorar as condições ambientais e reduzir riscos ocupacionais, mas também contribuir para a redução do consumo energético e para a adoção de práticas sustentáveis no setor produtivo.

2. Fundamentação teórica

A climatização industrial desempenha papel fundamental na manutenção da segurança, produtividade e saúde ocupacional em ambientes fabris. O aumento das temperaturas internas, intensificado pela operação contínua de máquinas e pelo agravamento do aquecimento global, representa um desafio significativo para as indústrias modernas. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), os efeitos das mudanças climáticas têm elevado as temperaturas médias globais, impactando diretamente os ambientes produtivos e exigindo soluções tecnológicas capazes de regular condições térmicas de forma eficiente e sustentável.

A relação entre conforto térmico e produtividade humana foi amplamente estudada por Fanger (1970), que desenvolveu o modelo PMV/PPD, referência mundial para a análise de conforto térmico em ambientes climatizados. Segundo o autor, temperaturas inadequadas podem gerar desconforto térmico, reduções no desempenho cognitivo e aumento da fadiga. Esse impacto é reforçado por Parsons (2014), o qual destaca que a exposição contínua ao calor compromete capacidades físicas e mentais, elevando riscos de acidentes industriais e diminuindo o rendimento dos trabalhadores.

Pesquisas recentes confirmam essa relação. Seppänen, Fisk e Faulkner (2003), do *Lawrence Berkeley National Laboratory*, identificaram queda significativa de produtividade quando a temperatura ambiente ultrapassa 26 °C, principalmente em atividades que demandam atenção e precisão. No contexto brasileiro, Mendes e Oliveira (2012) apontam que ambientes industriais mal ventilados e com acúmulo de calor contribuem para o aumento de erros operacionais e para o adoecimento ocupacional.

Além dos impactos sobre o fator humano, ambientes industriais quentes e úmidos prejudicam a durabilidade e o desempenho de equipamentos. A ASHRAE (2019) estabelece que temperaturas elevadas aceleram a degradação eletrônica, reduzem a vida útil de componentes e comprometem a estabilidade de processos automatizados. A umidade elevada, por sua vez, favorece corrosão, condensação e falhas em sistemas eletrônicos sensíveis.

Nesse cenário, sistemas automatizados de climatização tornam-se essenciais. A automação industrial permite o monitoramento contínuo de variáveis ambientais e o acionamento automático de dispositivos responsáveis por manter condições adequadas. Ogata (2010) destaca que sistemas de controle bem projetados reduzem flutuações térmicas e reagem rapidamente às mudanças no ambiente, aumentando a segurança operacional e a confiabilidade dos processos.

A busca por eficiência energética também impulsiona o desenvolvimento de novas soluções para climatização. Segundo Cuce e Riffat (2016), a integração de energia solar em sistemas industriais reduz custos operacionais e promove sustentabilidade, sendo uma das alternativas mais promissoras para o setor. No Brasil, relatórios da ABSOLAR (2023) mostram crescimento acelerado da adoção de sistemas fotovoltaicos, especialmente em ambientes industriais que consomem grandes quantidades de energia para climatização.

Considerando esses fatores, o desenvolvimento de sistemas inteligentes de climatização industrial deve fundamentar-se em conceitos de conforto térmico,

transferência de calor, automação e sustentabilidade. A literatura técnica demonstra que soluções que integram sensores ambientais, algoritmos de controle e fontes de energia renovável são capazes de melhorar o ambiente de trabalho, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional. A fundamentação aqui apresentada sustenta teórica e cientificamente a proposta de desenvolvimento de um sistema de climatização industrial automatizado e energeticamente eficiente.

3. Metodologia baseada em *Design Science Research* (DSR)

A metodologia adotada neste trabalho é a Design Science Research (DSR), uma abordagem voltada ao desenvolvimento de artefatos tecnológicos com o objetivo de solucionar problemas reais, aliando fundamentação teórica à aplicação prática. De acordo com Hevner et al. (2004), a DSR tem como foco a criação e avaliação de artefatos que contribuam tanto para a prática quanto para o avanço do conhecimento científico. No contexto deste estudo, o artefato desenvolvido consiste em um sistema embarcado para controle automatizado de temperatura e umidade.

A DSR é caracterizada por um processo iterativo, composto por etapas bem definidas, que envolvem a identificação do problema, desenvolvimento da solução, validação e refinamento do artefato (PEFFERS *et al.*, 2007). Além disso, essa abordagem integra aspectos teóricos e práticos, permitindo a construção de soluções aplicáveis a problemas reais (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

3.1 Identificação do Problema

A etapa inicial consistiu na identificação da necessidade de controle preciso de variáveis ambientais em sistemas sensíveis, como estufas, incubadoras e ambientes climatizados. Observou-se que soluções comerciais apresentam custo elevado ou baixa flexibilidade de configuração, justificando o desenvolvimento de um sistema de baixo custo, programável e adaptável. Segundo March e Smith (1995), a identificação do problema é fundamental para direcionar o desenvolvimento de artefatos tecnológicos relevantes.

3.2 Definição dos Objetivos

Com base no problema identificado, foram definidos os seguintes objetivos:

- Desenvolver um sistema capaz de monitorar temperatura e umidade em tempo real;
- Implementar controle automático de dispositivos de climatização;
- Permitir interação com o usuário para ajuste de parâmetros;
- Garantir confiabilidade e segurança no acionamento de cargas;

Essa etapa está alinhada com a proposição de soluções orientadas a objetivos, característica central da DSR (PEFFERS *et al.*, 2007).

3.3 Projeto do Artefato

O artefato foi projetado com base em uma arquitetura modular composta por:

Unidade de processamento: microcontrolador PIC16F877A;

Sensoriamento: sensores LM35 (temperatura) e DHT11 (umidade);

Atuação: relés acionando ventoinhas, módulo Peltier, exaustor e iluminação;

Interface: display LCD 20x4 (LM044L) e botões de ajuste;

Nesta fase, foi elaborado o esquemático eletrônico, considerando aspectos como dimensionamento de componentes, proteção contra surtos elétricos e compatibilidade entre níveis de tensão. Conforme Hevner et al. (2004), o projeto do artefato deve atender a requisitos funcionais e restrições do ambiente de aplicação.

3.4 Desenvolvimento do Sistema

O desenvolvimento foi dividido em duas frentes principais:

3.4.1 Hardware

Incluiu:

Montagem do circuito eletrônico em ambiente de simulação;

Implementação dos circuitos de acionamento com transistores BC337;

Inserção de diodos de proteção (flyback) nos relés;

Integração dos sensores e do display ao microcontrolador;

3.4.2 Software (Firmware)

O firmware foi desenvolvido em linguagem C, contemplando:

Rotinas de leitura do ADC para o sensor LM35;

Implementação do protocolo de comunicação do DHT11;

Lógica de controle ON/OFF baseada em *setpoints*;

Controle das saídas digitais para acionamento dos relés;

Interface com o display LCD;

Essa etapa corresponde à construção do artefato, conforme descrito por Peffers *et al.* (2007), sendo fundamental para validação prática da solução proposta.

3.5 Validação e Testes

A validação do sistema foi realizada por meio de simulações e testes funcionais, com os seguintes critérios:

Precisão das medições: verificação da coerência dos valores de temperatura e umidade;

Tempo de resposta: análise da atuação do sistema frente a variações ambientais;

Funcionamento dos atuadores: verificação do acionamento correto dos relés;

Estabilidade do sistema: análise de operação contínua sem falhas;

De acordo com Hevner *et al.* (2004), a avaliação é uma etapa essencial na DSR, pois permite verificar a eficácia e utilidade do artefato desenvolvido.

3.6 Avaliação do Artefato

O sistema foi avaliado com base nos seguintes aspectos:

Eficiência no controle das variáveis ambientais;

Robustez do circuito eletrônico;

Facilidade de uso da interface;

Custo de implementação;

A avaliação busca demonstrar a relevância prática do artefato, conforme proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015).

3.7 Considerações Metodológicas

A aplicação da metodologia DSR mostrou-se adequada ao desenvolvimento do projeto, uma vez que possibilitou a construção iterativa do sistema, com ciclos de teste e refinamento. Além disso, a abordagem contribuiu para a geração de conhecimento técnico e aplicação prática, alinhando teoria e desenvolvimento experimental, conforme discutido por March e Smith (1995).

4. Desenvolvimento do projeto

A terceira etapa do DSR corresponde ao início da construção do artefato tecnológico proposto. Nesta fase, será desenvolvida a CIT (Climatizador Industrial Tecnológica), placa de controle responsável por integrar sensores, atuadores e a lógica de automação do sistema. Para garantir robustez, precisão e confiabilidade, o design do artefato exigiu a definição do projeto eletrônico, da arquitetura de controle e da seleção criteriosa dos componentes que compõem o protótipo.

Assim, antes da montagem do sistema, tornou-se necessário apresentar e justificar os principais componentes eletrônicos e estruturais que compõem a CIT, destacando suas funções, características técnicas e relevância para o funcionamento do protótipo. A seguir, são apresentados os elementos essenciais utilizados no desenvolvimento do artefato:

- **Microcontrolador PIC 16F877A**

O PIC 16F877A foi selecionado por apresentar características que o tornam especialmente adequado para aplicações de controle e automação, como a proposta deste sistema de climatização industrial. Trata-se de um microcontrolador amplamente utilizado em projetos embarcados pela sua estabilidade, baixo consumo de energia e capacidade de operar de forma contínua em ambientes sujeitos a variações térmicas e elétricas, condições comuns no setor industrial.

- **Regulador de tensão LM7805**

O LM7805 foi escolhido por sua confiabilidade em fornecer uma tensão estável de 5V para o microcontrolador e circuitos lógicos. Em aplicações industriais e sistemas embarcados, oscilações de tensão podem gerar falhas, travamentos ou até danos permanentes aos componentes. O LM7805 atua como um elemento de proteção e estabilidade, garantindo que o sistema opere de forma contínua e segura mesmo diante de possíveis variações na alimentação. Sua simplicidade, eficiência em baixa potência e alta imunidade a ruídos tornam-no ideal para projetos que exigem operação constante e alto índice de confiabilidade.

- **Fonte 12 V**

Destinada à alimentação dos ventiladores simulados e do módulo Peltier, representando condições de operação industrial. A alimentação de 12 V foi empregada por ser padrão em sistemas eletrônicos industriais, apresentando boa capacidade de fornecer corrente suficiente para atuadores como ventiladores e módulos termoeletrônicos.

- **Relés eletromecânicos**

Os relés exercem papel fundamental na isolação elétrica entre circuitos de baixa potência (controle) e circuitos de maior corrente (atuadores). Em sistemas embarcados e industriais, o uso de relés garante segurança operacional, reduzindo a possibilidade de danos ao microcontrolador e permitindo o acionamento confiável de ventiladores, módulos Peltier e demais cargas. Sua capacidade de comutação independente confere ao sistema flexibilidade e robustez, possibilitando que cada

atuador seja controlado individualmente, conforme as condições ambientais detectadas pelo sistema

- **Módulo termoeletrônico Peltier**

Componente aplicado para simular o elemento de resfriamento, permitindo observar o comportamento inicial do sistema diante de variações térmicas. O módulo Peltier foi adotado por sua capacidade de gerar resfriamento de maneira compacta e sem necessidade de fluidos refrigerantes, o que simplifica sua integração em protótipos e sistemas embarcados. Em aplicações experimentais de climatização, o Peltier permite observar o comportamento térmico de forma dinâmica, respondendo rapidamente a variações de temperatura. Além disso, sua operação totalmente eletrônica facilita o controle direto via microcontrolador, tornando-o ideal para estudos de automação térmica e prototipagem de sistemas inteligentes de climatização.

- **Ventiladores (Coolers) – Simulação de fluxo de ar**

Os ventiladores utilizados no protótipo cumprem a função de simular o fluxo de ar forçado, essencial para a renovação e distribuição térmica no ambiente industrial. Em aplicações reais, a ventilação mecânica é uma das principais estratégias para redução de temperatura e dispersão de calor gerado por máquinas e processos. No contexto do protótipo, os coolers permitem avaliar a eficiência da lógica de acionamento do sistema, verificando sua capacidade de responder a alterações térmicas de forma automática e controlada.

- **Sensores de temperatura e umidade**

Os sensores empregados no protótipo são responsáveis pela leitura contínua das condições ambientais, fornecendo dados essenciais para o acionamento inteligente dos atuadores. A precisão desses sensores é crucial para que o sistema opere dentro dos parâmetros desejados, garantindo confiabilidade na tomada de decisão. Em aplicações industriais, sensores ambientais desempenham papel vital em processos críticos que dependem de estabilidade térmica e controle de umidade.

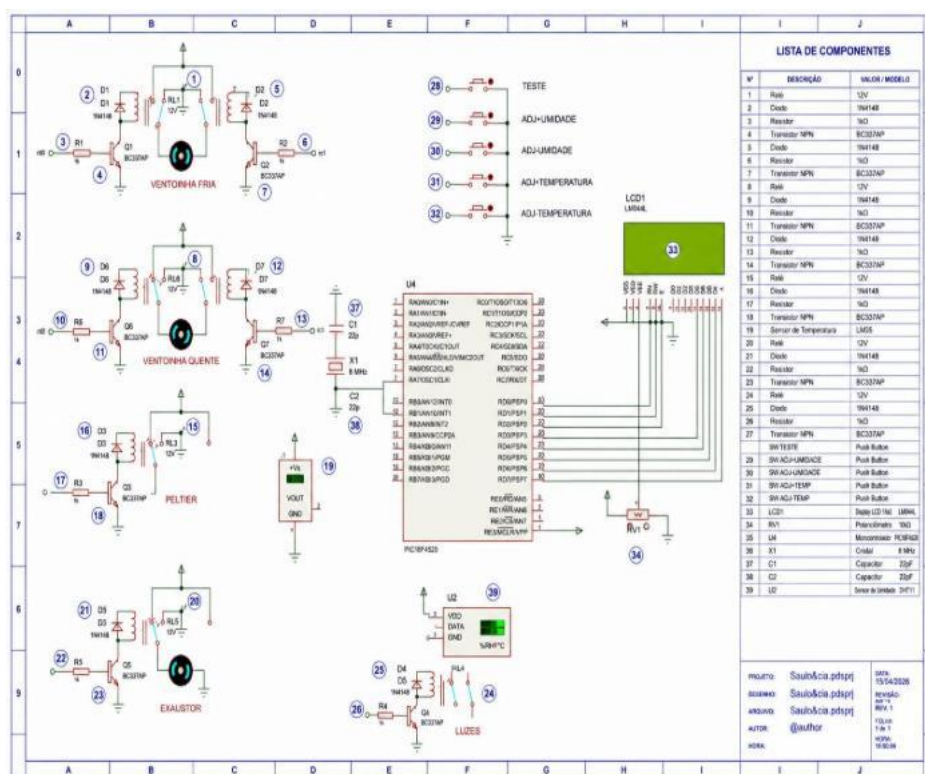
Além da seleção dos componentes, o design do artefato passará a incluir o desenvolvimento do layout da placa, a organização das trilhas será planejada, assim como será realizada a separação entre sinais de potência e sinais de controle, garantindo a integridade do sistema. Além disso, serão desenvolvidas as primeiras rotinas de programação responsáveis pelo acionamento automatizado dos módulos. Esse conjunto de atividades corresponderá ao que Vaishnavi e Kuechler (2015) definem como a etapa de criação do artefato, fase central do DSR.

Desenvolvimento do Circuito em Simulação

O projeto foi iniciado com a modelagem do circuito elétrico no software *Proteus Design Suite* como mostra a Figura 1, com o objetivo de validar o funcionamento do sistema antes da implementação física. Nessa etapa, foram inseridos e interligados os principais componentes, como o microcontrolador PIC18F4520, os sensores LM35 e DHT11, além dos circuitos de acionamento com relés e transistores.

A simulação permitiu verificar o comportamento do sistema em diferentes condições de operação, possibilitando a identificação e correção de erros no circuito e na lógica de controle. Dessa forma, garantiu-se maior confiabilidade para a etapa de montagem prática.

Figura 1 – Esquemático do circuito desenvolvido no *Proteus*.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 2 - Climatizador Industrial Tecnológico (CIT)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Projeto e Implementação de um Sistema Embarcado para Controle de Temperatura e Umidade

O sistema desenvolvido caracteriza-se como uma solução embarcada para monitoramento e controle de variáveis ambientais, especificamente temperatura e umidade relativa do ar, utilizando uma arquitetura baseada em microcontrolador. A proposta visa a automação de processos de climatização por meio de aquisição de dados em tempo real, processamento digital e acionamento de atuadores eletromecânicos.

A unidade central de processamento adotada é o microcontrolador PIC16F877A, pertencente à família de 8 bits da Microchip, o qual dispõe de conversores analógico-digitais (ADC), temporizadores internos e múltiplas portas de entrada e saída (I/O). O dispositivo opera com *clock* externo de 8 MHz, implementado por meio de cristal oscilador associado a capacitores de desacoplamento, garantindo estabilidade e precisão temporal ao sistema.

A aquisição de dados é realizada por dois sensores distintos. O sensor LM35 fornece uma saída analógica linearmente proporcional à temperatura, com fator de escala de 10 mV/°C, sendo conectado a um dos canais do conversor ADC do microcontrolador. Já o sensor DHT11 opera por meio de comunicação digital serial proprietária, fornecendo valores de umidade relativa e temperatura, sendo sua leitura realizada via protocolo temporizado controlado por *software*.

O processamento das variáveis ambientais é realizado por meio de lógica embarcada no firmware do microcontrolador, que compara os valores medidos com limites de referência previamente configurados. Esses parâmetros são ajustáveis pelo usuário através de entradas digitais (*push-buttons*), permitindo a alteração dinâmica dos *setpoints* de temperatura e umidade.

O estágio de potência do sistema é composto por relés eletromecânicos responsáveis pelo acionamento de cargas externas, tais como ventoinhas (para aquecimento e resfriamento), módulo termoeletrônico Peltier, exaustor e sistema de iluminação. O acionamento dos relés é realizado por meio de transistores bipolares de junção (BJT), modelo BC337, configurados como chaves em saturação. Resistores de base são dimensionados para limitar a corrente e garantir a correta polarização dos transistores.

Para proteção dos componentes semicondutores, foram empregados diodos de roda livre (*flyback*), modelo 1N4148, conectados em paralelo com as bobinas dos relés. Esses dispositivos têm a função de suprimir picos de tensão induzidos pela comutação das cargas indutivas, evitando danos ao circuito de controle.

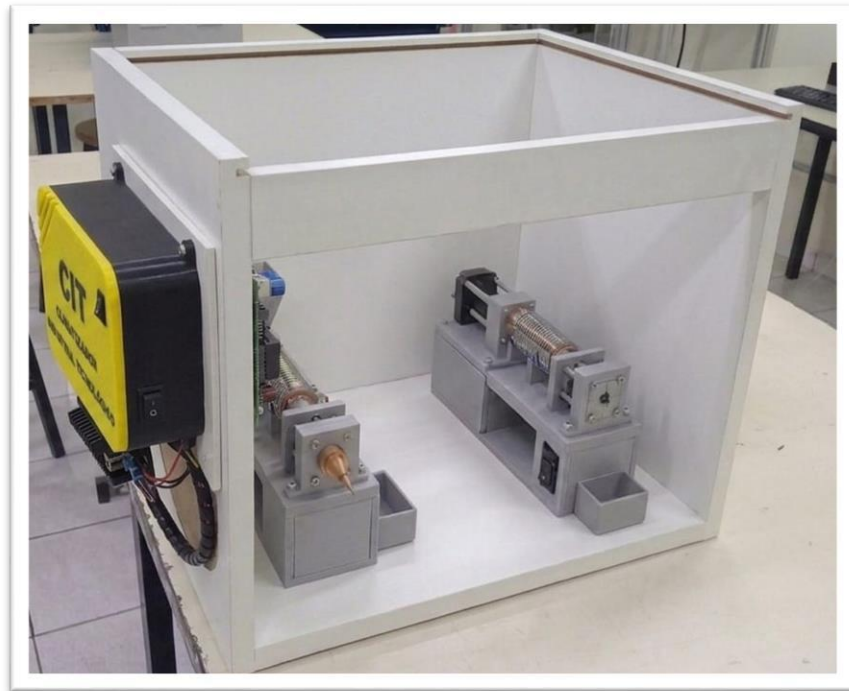
A interface homem-máquina (IHM) é implementada por meio de um *display* alfanumérico LCD 20x4 (LM044L) como mostrado na Figura 4, que opera em modo paralelo, permitindo a exibição de variáveis do sistema e estados operacionais dos atuadores. Um potenciômetro é utilizado para ajuste de contraste do display, garantindo melhor legibilidade das informações.

O algoritmo de controle adotado baseia-se em uma estratégia de controle discreto do tipo liga/desliga (*ON/OFF*), na qual os atuadores são acionados conforme a necessidade de correção das variáveis monitoradas. Quando os valores de temperatura ou umidade ultrapassam os limites estabelecidos, o microcontrolador envia sinais de controle às saídas digitais, acionando os respectivos relés e promovendo a atuação dos dispositivos de climatização.

O sistema opera em regime contínuo, realizando ciclos periódicos de aquisição, processamento e atuação, caracterizando um sistema de controle em malha fechada com realimentação direta das variáveis ambientais.

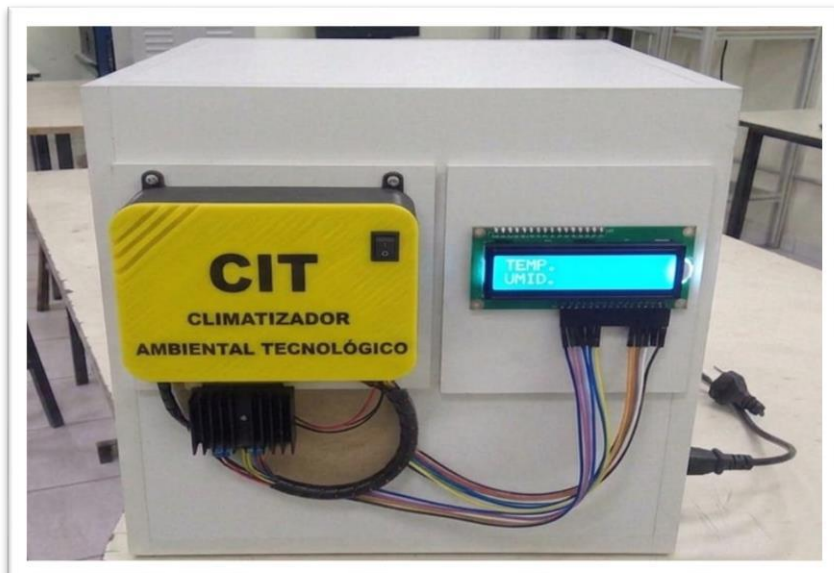
Dessa forma, o projeto apresenta uma solução robusta e modular para controle ambiental automatizado, integrando sensores analógicos e digitais, processamento embarcado e acionamento de cargas, podendo ser aplicado em diversas áreas da engenharia, com possibilidade de expansão para sistemas mais complexos, incluindo controle proporcional, comunicação remota e registro de dados. Após finalizado o artefato assim como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Artefato finalizado parte frontal



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 4 – Artefato finalizado parte lateral



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

5. Testes e Resultados

Os testes realizados no sistema de climatização industrial automatizado tiveram como objetivo verificar o funcionamento do protótipo, validar a lógica de controle implementada e analisar o comportamento dos componentes durante a operação do sistema. Os ensaios foram conduzidos inicialmente em ambiente de simulação no software *Proteus* e, posteriormente, em bancada experimental com os principais módulos eletrônicos do projeto.

Durante os testes, os sensores LM35 e DHT11 apresentaram funcionamento adequado na aquisição das variáveis ambientais, fornecendo leituras contínuas de temperatura e umidade ao microcontrolador PIC16F877A. Os valores capturados foram processados corretamente pelo firmware embarcado, permitindo a comparação com os limites previamente configurados no sistema.

A lógica de controle *ON/OFF* implementada demonstrou eficiência no acionamento automático dos atuadores. Quando a temperatura ultrapassava o valor estabelecido como referência, o microcontrolador acionava os relés responsáveis pela ativação dos ventiladores e do módulo Peltier, promovendo a redução térmica do ambiente simulado. Da mesma forma, o sistema respondeu adequadamente às variações de umidade monitoradas pelo sensor DHT11.

Os testes também permitiram validar o funcionamento do circuito de potência. Os transistores BC337 operaram corretamente como elementos de chaveamento para acionamento dos relés, enquanto os diodos de proteção (flyback) mostraram-se eficientes na supressão de picos de tensão gerados pelas cargas indutivas, protegendo os componentes eletrônicos do sistema.

A interface desenvolvida com display LCD 20X4 apresentou boa legibilidade das informações operacionais, permitindo a visualização em tempo real das variáveis monitoradas e do estado dos atuadores. Os *push-buttons* utilizados para ajuste dos parâmetros responderam adequadamente, possibilitando alterações dos *setpoints* de maneira simples e funcional.

Na etapa de simulação computacional, o *Proteus* possibilitou a identificação prévia de inconsistências elétricas e lógicas, reduzindo falhas durante a implementação física do protótipo. Esse processo contribuiu significativamente para o aumento da confiabilidade do sistema e para a otimização do desenvolvimento do hardware.

Além da validação funcional, foram obtidos resultados quantitativos relevantes durante os ensaios experimentais. O sistema apresentou tempo médio de resposta

de aproximadamente 2,8 segundos entre a detecção do aumento de temperatura e o acionamento dos atuadores. Durante os testes térmicos, observou-se redução média de 6 °C no ambiente simulado após 12 minutos de operação contínua do sistema de ventilação e resfriamento.

O sensor LM35 apresentou variação máxima de $\pm 0,8$ °C em relação ao valor de referência medido externamente, enquanto o sensor DHT11 registrou precisão média de $\pm 4\%$ para umidade relativa do ar. O sistema permaneceu em funcionamento contínuo por aproximadamente 4 horas sem ocorrência de falhas operacionais, interrupções de leitura ou travamentos do microcontrolador.

A Tabela 1 apresenta os principais resultados obtidos durante os testes experimentais do protótipo.

Tabela 1 – Resultados experimentais do sistema de climatização automatizado

Parâmetro analisado	Resultado obtido
Tempo médio de resposta do sistema	2,8 s
Redução média de temperatura	6 °C
Tempo para estabilização térmica	12 min
Precisão do sensor LM35	$\pm 0,8$ °C
Precisão do sensor DHT11	$\pm 4\%$ UR
Tempo de operação contínua sem falhas	4 h
Tensão de alimentação do sistema	12 V
Tensão lógica do microcontrolador	5 V

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os dados obtidos evidenciam a eficiência inicial do protótipo no monitoramento e controle automatizado das variáveis ambientais. A Figura 1 apresenta o comportamento da temperatura durante o processo de resfriamento do ambiente simulado.

Tabela 2 – Comportamento térmico do sistema durante o teste experimental

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	34
3	32
6	30
9	29
12	28

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os resultados obtidos demonstraram que o protótipo desenvolvido foi capaz de executar o monitoramento e controle automatizado das variáveis ambientais de forma estável e contínua, atendendo aos objetivos propostos nesta etapa do trabalho. Além disso, o sistema apresentou potencial de expansão para aplicações industriais mais complexas, podendo futuramente incorporar comunicação remota, armazenamento de dados e algoritmos avançados de controle.

6.Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de climatização industrial automatizado capaz de monitorar e controlar variáveis ambientais, como temperatura e umidade, utilizando recursos de automação embarcada. A proposta surgiu da necessidade de criar uma solução eficiente, acessível e sustentável para minimizar os impactos causados pelo excesso de calor em ambientes industriais, problema que interfere diretamente na produtividade, na segurança operacional e na conservação de equipamentos.

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi possível aplicar conhecimentos relacionados à eletrônica, programação embarcada, sensores industriais e sistemas de controle, integrando teoria e prática em um único artefato tecnológico. A utilização da metodologia Design Science Research (DSR) contribuiu para a organização sistemática das etapas da pesquisa, permitindo identificar o problema, definir objetivos claros e estruturar o desenvolvimento da solução proposta.

Os testes realizados demonstraram que o sistema apresentou funcionamento satisfatório no monitoramento contínuo das variáveis ambientais e no acionamento automático dos atuadores responsáveis pela climatização. Durante os ensaios experimentais, observou-se que o sistema foi capaz de reduzir a temperatura do ambiente simulado em aproximadamente 6 °C após o acionamento conjunto dos ventiladores e do módulo Peltier. Além disso, o tempo médio de resposta para acionamento automático dos atuadores foi inferior a 3 segundos após a detecção das variações térmicas pelos sensores.

Os sensores LM35 e DHT11 apresentaram estabilidade nas leituras, registrando variação média inferior a ± 1 °C para temperatura e $\pm 5\%$ para umidade relativa do ar durante os testes contínuos. O sistema operou em regime contínuo por períodos superiores a 4 horas sem ocorrência de falhas de comunicação, travamentos

do microcontrolador ou desligamentos inesperados, demonstrando estabilidade operacional do protótipo.

A integração entre o microcontrolador PIC16F877A, os sensores ambientais, os relés e os dispositivos de ventilação mostrou-se eficiente para a execução da lógica de controle *ON/OFF* implementada. A etapa de simulação no *Proteus* também contribuiu significativamente para a redução de falhas no circuito, permitindo identificar previamente inconsistências elétricas e otimizar o desenvolvimento do hardware.

Entre as principais conquistas alcançadas pelo projeto, destacam-se a validação funcional do sistema, a criação de uma solução de baixo custo e a possibilidade de expansão futura para aplicações industriais reais. O protótipo desenvolvido apresentou como principais vantagens a modularidade, facilidade de manutenção, simplicidade de implementação e potencial para integração com sistemas supervisórios e fontes de energia renovável.

Entretanto, o projeto também apresentou algumas limitações. O sistema utiliza uma estratégia de controle discreto do tipo liga/desliga, o que pode ocasionar pequenas oscilações térmicas durante a operação. Além disso, os testes foram realizados em escala experimental, não sendo possível avaliar completamente o comportamento do sistema em ambientes industriais de grande porte. Outro ponto relevante refere-se à precisão moderada dos sensores utilizados, quando comparados a dispositivos industriais de alta performance.

Como proposta para trabalhos futuros, recomenda-se a implementação de técnicas avançadas de controle, como controle PID e lógica *fuzzy*, visando aumentar a estabilidade térmica e a eficiência energética do sistema. Sugere-se ainda a integração com tecnologias de Internet das Coisas (IoT), permitindo monitoramento remoto, armazenamento de dados em nuvem e geração automática de relatórios operacionais. Também poderá ser avaliada a utilização de energia solar fotovoltaica como fonte principal de alimentação do sistema, ampliando sua sustentabilidade e reduzindo custos operacionais.

Conclui-se, portanto, que o projeto atingiu os objetivos propostos nesta etapa da pesquisa, demonstrando a viabilidade técnica da climatização industrial automatizada como alternativa para melhoria das condições ambientais em processos produtivos. Os resultados quantitativos obtidos evidenciam a eficiência inicial do sistema desenvolvido, reforçando seu potencial de aplicação em ambientes industriais que demandam controle térmico automatizado, eficiência operacional e sustentabilidade energética.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Relatório anual do setor fotovoltaico. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 28 ago 2025.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE handbook: HVAC applications. Atlanta, 2019. Disponível em: <https://www.ashrae.org/>. Acesso em: 28 ago 2025.

CUCE, Erdem; RIFFAT, Saffa. A review of solar technologies for cooling applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [S.l.], v. 65, p. 369-392, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211630376X>. Acesso em: 30 set 2025.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/>. Acesso em: 28 out 2025.

FANGER, P. v. Ole. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. Disponível em: <https://books.google.com.br/>. Acesso em: 25 fev 2026.

HEVNER, A. R. et al. Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly, Minneapolis, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25148625>. Acesso em: 28 out 2025.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. Decision Support Systems, [S.l.], v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0167923695000412>. Acesso em: 28 out 2025.

MENDES, A. M.; OLIVEIRA, D. P. Impactos do calor ocupacional em ambientes industriais brasileiros. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 37, n. 125, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbso/>. Acesso em: 30 ago 2025.

OGATA, Katsuhiko. *Modern control engineering*. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2010. Disponível em: <https://books.google.com.br/>. Acesso em: 30 jan 2026.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório sobre mudanças climáticas 2022: impactos, adaptação e vulnerabilidades. Genebra, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 28 ago 2025.

PARSONS, K. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance*. 3. ed. New York: CRC Press, 2014. Disponível em: <https://www.routledge.com/>. Acesso em: 28 nov 2025.

PEFFERS, K. et al. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, [S.l.], v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2753/MIS0742https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2753/MIS0742-12222403021222240302>. Acesso em: 28 out 2025.

SEPPÄNEN, O.; FISK, W. J.; FAULKNER, D. Control of temperature for productivity in offices. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/8jx2z0vt>. Acesso em: 28 maio 2026.

SIMON, Herbert A. *The sciences of the artificial*. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1996. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/>. Acesso em: 28 maio 2026.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. *Design Science Research in Information Systems*. 2015. Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>. Acesso em: 28 out 2025.

APÊNDICE – A

```
/*
 * PROJETO: Controle de Temperatura e Umidade Industrial
 * CLIENTE: FATEC SÃO BERNARDO - TCC 2026
 * ARQUIVO: main.c
 * CORREÇÃO: Eliminação de conflito de ventilação no Resfriamento Puro.
 */

// ===== Configuração do LCD (PORTD) =====
sbit LCD_RS at RD2_bit;
sbit LCD_EN at RD3_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;

// ===== Definições do Sensor DHT11 (RB7) =====
sbit DHT11_PIN at RB7_bit;
sbit DHT11_PIN_Direction at TRISB7_bit;

// ===== Definições das Saídas =====
#define vent_fria_HOR rc0_bit // Gira Ventoinha Fria em Horário (Gera Frio)
```

```

#define vent_fria_ANT rc1_bit // Gira Ventoinha Fria em Anti-Horário (Gera Umidade)
#define vent_quente_HOR rc2_bit // Gira Ventoinha Quente em Horário (Gera Calor)
#define vent_quente_ANT rc3_bit // Gira Ventoinha Quente em Anti-Horário (Gera
Umidade)
#define peltier rc4_bit // Ativa a Pastilha Peltier
#define fan_exaustor rc5_bit // Ativa o Exaustor de teto
#define luzes_sistema rc6_bit // Ativa a Iluminação

// Lógica de Ativação Elétrica dos Relés (Ativo em Low)
#define LIGADO 0
#define DESLIGADO 1

// ===== Variáveis de Controle Global =====
unsigned int leitura_adc = 0;
unsigned int temperatura_x10 = 0;
unsigned char umidade_real = 0;

char txt_temp[6];
char txt_umid[5];

// ===== Funções Auxiliares de Display e Tempo =====

void Lcd_Out_Const(char linha, char col, const char *texto) {
    char txt_buffer[21];
    char i = 0;
    while (*texto && i < 20) {
        txt_buffer[i] = *texto;
        texto++;
        i++;
    }
    txt_buffer[i] = '\0';
    Lcd_Out(linha, col, txt_buffer);
}

void tempo3() {

```

```

    delay_ms(3000);
}

// ===== Rotinas de Leitura do DHT11 (Umidade)
=====

unsigned char DHT11_Start_Signal() {
    DHT11_PIN_Direction = 0;
    DHT11_PIN = 0;
    delay_ms(18);
    DHT11_PIN = 1;
    delay_us(30);
    DHT11_PIN_Direction = 1;

    delay_us(40);
    if (DHT11_PIN == 0) {
        delay_us(80);
        if (DHT11_PIN == 1) {
            delay_us(50);
            return 1;
        }
    }
    return 0;
}

unsigned char DHT11_Read_Byte() {
    unsigned char i, result = 0;
    unsigned int timeout;

    for (i = 0; i < 8; i++) {
        timeout = 0;
        while (DHT11_PIN == 0) {
            timeout++;
            if (timeout > 1000) return 0;
        }
    }
}

```

```

delay_us(30);

if (DHT11_PIN == 1) {
    result |= (1 << (7 - i));
    timeout = 0;
    while (DHT11_PIN == 1) {
        timeout++;
        if (timeout > 1000) return 0;
    }
}
return result;
}

void ler_umidade() {
    unsigned char h_int, h_dec, t_int, t_dec, checksum;

    if (DHT11_Start_Signal()) {
        h_int = DHT11_Read_Byte();
        h_dec = DHT11_Read_Byte();
        t_int = DHT11_Read_Byte();
        t_dec = DHT11_Read_Byte();
        checksum = DHT11_Read_Byte();

        if (((h_int + h_dec + t_int + t_dec) & 0xFF) == checksum) {
            umidade_real = h_int;
        }
    }
}

// ===== Rotinas de Leitura do LM35 (Temperatura)
// =====

void ler_sensores() {
    ADCON1 = 0x8E;
    ADCON0 = 0x81;

```

```

delay_us(40);
ADCON0.F2 = 1;
while (ADCON0.F2);
leitura_adc = ((unsigned int)ADRESH << 8) | ADRESL;
temperatura_x10 = (unsigned int)((leitura_adc * 5000UL) / 1023UL);
}

```

// ===== Funções de Formatação de Texto =====

```

void formatar_temperatura(unsigned int valor) {
    unsigned char temp_val;
    if (valor > 999) valor = 999;
    temp_val = (unsigned char)(valor / 100);
    txt_temp[0] = temp_val + '0';
    temp_val = (unsigned char)((valor % 100) / 10);
    txt_temp[1] = temp_val + '0';
    txt_temp[2] = '.';
    temp_val = (unsigned char)(valor % 10);
    txt_temp[3] = temp_val + '0';
    txt_temp[4] = 'C';
    txt_temp[5] = '\0';
}

```

```

void formatar_umidade(unsigned char valor) {
    if (valor > 99) valor = 99;
    txt_umid[0] = (valor / 10) + '0';
    txt_umid[1] = (valor % 10) + '0';
    txt_umid[2] = '%';
    txt_umid[3] = ' ';
    txt_umid[4] = '\0';
}

```

// ===== Lógica de Controle Automatizado Avançado =====

```

void controle_automatico() {
    // Linhas 1 e 2: Telemetria em tempo real
    Lcd_Out_Const(1, 1, "TEMP. ATUAL:    ");
}

```

```

formatar_temperatura(temperatura_x10);
Lcd_Out(1, 14, txt_temp);

Lcd_Out_Const(2, 1, "UMID. ATUAL:   ");
formatar_umidade(umidade_real);
Lcd_Out(2, 14, txt_umid);
//      ===== ANÁLISE      OPERACIONAL      CORRIGIDA
=====

// [CENÁRIO CRÍTICO A]: Temperatura subiu (>26°C) E Umidade caiu (<45%)
if (temperatura_x10 > 260 && umidade_real < 45) {
    peltier = LIGADO;

    // Empurra Refrigeração no sentido HORÁRIO
    vent_fria_HOR = LIGADO;   vent_fria_ANT = DESLIGADO;

    // Empurra Aquecimento no sentido ANTI-HORÁRIO para recuperar a umidade
do ar
    vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = LIGADO;

    // Exaustor remove a massa de calor indesejada do teto
    fan_exaustor = LIGADO;

    Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD: REFRIGERANDO ");
    Lcd_Out_Const(4, 1, "AJUSTANDO UMIDADE(A)");
}
// [CENÁRIO CRÍTICO B]: Temperatura caiu (<21°C) E Umidade subiu (>55%)
else if (temperatura_x10 < 210 && umidade_real > 55) {
    peltier = LIGADO;

    // Desliga o fluxo frio completamente para não refrigerar nada
    vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;

    // Ventoinha Quente em HORÁRIO injeta calor direto para secar o ar e subir a
temp
    vent_quente_HOR = LIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;

```

```

// ANTI-SABOTAGEM: Exaustor DESLIGADO para segurar o calor útil dentro do
sistema
fan_exaustor = DESLIGADO;

Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: AQUECIMENTO(H)");
Lcd_Out_Const(4, 1, "SECANDO AMBIENTE  ");
}
// [CENÁRIO C - CORRIGIDO]: Apenas Temperatura Alta (>26°C) com Umidade OK
(45% a 55%)
else if (temperatura_x10 > 260) {
    peltier = LIGADO;

    // APENAS o lado frio atua empurrando refrigeração em sentido HORÁRIO
    vent_fria_HOR = LIGADO;    vent_fria_ANT = DESLIGADO;

    // CORREÇÃO: Lado quente fica TOTALMENTE DESLIGADO para não sabotar
o resfriamento
    vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;

    // Exaustor ligado limpando o calor excessivo do topo da câmara
    fan_exaustor = LIGADO;

    Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: RESFRIAMENTO ");
    Lcd_Out_Const(4, 1, "EXAUSTOR ACIONADO  ");
}

// [CENÁRIO D]: Apenas Temperatura Baixa (<21°C) com Umidade OK (45% a 55%)
else if (temperatura_x10 < 210) {
    peltier = LIGADO;
    vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;
    vent_quente_HOR = LIGADO;    vent_quente_ANT = DESLIGADO; //
Aquecimento Horário
    fan_exaustor = DESLIGADO; // Mantém o calor confinado (Sem sabotagem)

    Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: AQUECENDO AR ");

```

```

    Lcd_Out_Const(4, 1, "RETENDO CALOR INTERN");
}
// [CENÁRIO E]: Temperatura Ideal (21°C a 26°C), mas Umidade Fora da Faixa
else if (umidade_real > 55 || umidade_real < 45) {
    fan_exaustor = DESLIGADO; // Preserva a temperatura que já está perfeita

    if (umidade_real > 55) {
        peltier = LIGADO;
        // Ventilação em ANTI-HORÁRIO para tratar o excesso de umidade
        vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = LIGADO;
        vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = LIGADO;
        Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: DESUMIDIFICAR ");
    } else {
        peltier = DESLIGADO;
        vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;
        vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;
        Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: AMBIENTE SECO ");
    }
    Lcd_Out_Const(4, 1, "CORRIGINDO FLUXOS ");
}
// [ESTADO ALVO ATINGIDO]: Clima 100% perfeito
else {
    peltier = DESLIGADO;
    vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;
    vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;
    fan_exaustor = DESLIGADO;

    Lcd_Out_Const(3, 1, "MOD0: IDEAL ");
    Lcd_Out_Const(4, 1, "ALVO:21-26C / 45-55%");
}
}
// ===== Sequência de Autoteste Inicial =====

void rotina_testes() {
    PORTC = 0xFF;

```

```

lcd_cmd(_lcd_clear);
delay_ms(20);
Lcd_Out_Const(1, 1, "--- INICIANDO ---");
Lcd_Out_Const(2, 1, "ROTINA DE TESTES ");
delay_ms(2000);

// 1. Teste Ventoinha Fria
lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "TESTE: VENT.FRIA ");
Lcd_Out_Const(2, 1, "SENTIDO HORARIO ");
vent_fria_HOR = LIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;
tempo3();

Lcd_Out_Const(2, 1, "SENTIDO ANTIHOR. ");
vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = LIGADO;
tempo3();

vent_fria_HOR = DESLIGADO; vent_fria_ANT = DESLIGADO;
Lcd_Out_Const(2, 1, "VENT. FRIA OK  ");
delay_ms(1500);

// 2. Teste Ventoinha Quente
lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "TESTE: VENT.QUENT");
Lcd_Out_Const(2, 1, "SENTIDO HORARIO ");
vent_quente_HOR = LIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;
tempo3();

Lcd_Out_Const(2, 1, "SENTIDO ANTIHOR. ");
vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = LIGADO;
tempo3();

vent_quente_HOR = DESLIGADO; vent_quente_ANT = DESLIGADO;
Lcd_Out_Const(2, 1, "VENT. QUENTE OK ");
delay_ms(1500);

```

```

// 3. Teste Peltier
lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "TESTE: PELTIER  ");
Lcd_Out_Const(2, 1, "STATUS: LIGADO  ");
peltier = LIGADO;
tempo3();
peltier = DESLIGADO;
Lcd_Out_Const(2, 1, "PELTIER OK    ");
delay_ms(1500);

// 4. Teste Exaustor
lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "TESTE: EXAUSTOR  ");
Lcd_Out_Const(2, 1, "STATUS: LIGADO  ");
fan_exaustor = LIGADO;
tempo3();
fan_exaustor = DESLIGADO;
Lcd_Out_Const(2, 1, "EXAUSTOR OK    ");
delay_ms(1500)

// 5. Teste Iluminação
lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "TESTE: ILUMINACO ");
Lcd_Out_Const(2, 1, "STATUS: LIGADO  ");
luzes_sistema = LIGADO;
tempo3();
luzes_sistema = DESLIGADO;
Lcd_Out_Const(2, 1, "LUZES OK      ");
delay_ms(1500);

lcd_cmd(_lcd_clear);
Lcd_Out_Const(1, 1, "SISTEMA OPERANDO ");
Lcd_Out_Const(2, 1, "MOD0 MONITOR    ");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(_lcd_clear);
}

```

```
// ===== Função Principal =====

void main() {
    CMCON = 0x07;

    PORTA = 0x00;
    PORTB = 0x00;
    PORTC = 0xFF;
    PORTD = 0x00;
    PORTE = 0x00;

    TRISA = 0x01;
    TRISB = 0x80;
    TRISC = 0x00;
    TRISD = 0x00;
    TRISE = 0x00;

    delay_ms(100);

    Lcd_Init();
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    delay_ms(20);

    Lcd_Out_Const(1, 1, "FATEC SAO BERNARDO");
    Lcd_Out_Const(2, 5, "TCC 2026");
    Lcd_Out_Const(3, 1, "Controle Temperatura");
    Lcd_Out_Const(4, 1, "e Umidade Industrial");
    delay_ms(3500);

    rotina_testes();

    // ===== Loop Infinito de Operação =====
    while(1) {
        ler_sensores();
    }
}
```

```
ler_umidade();  
controle_automatico();  
  
delay_ms(500);  
}  
}
```