

MANUAL DO USUÁRIO E TÉCNICO DE UM CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL DIDÁTICO BASEADO EM ARDUINO NANO COM PROGRAMAÇÃO LADDER

Modalidade: Resumo Expandido

João Augusto da Silva¹

Luis Henrique de Oliveira Reis²

Matheus Henrique de Oliveira Sanches³

Nicolas Rzepka Buzzo⁴

Vander Fabio Silveira (orientador)

1 INTRODUÇÃO

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) constituem a base da automação industrial moderna, substituindo painéis de relés convencionais por uma lógica programável, flexível e de fácil manutenção (GEORGINI, 2015). Desde sua introdução na indústria automotiva, nas décadas de 1960 e 1970, como alternativa à lógica fixa a relés eletromecânicos, os CLPs se consolidaram como o elemento central de controle em praticamente todos os setores produtivos, por reunirem robustez elétrica, flexibilidade de reprogramação e facilidade de diagnóstico. Entretanto, entre os desafios do ensino de automação está o custo elevado dos CLPs comerciais, cujos preços de mercado, somados à necessidade de módulos de expansão e software proprietário de programação, restringem significativamente o acesso de estudantes de cursos técnicos e tecnológicos a equipamentos reais de laboratório.

Uma alternativa amplamente adotada em projetos de ensino consiste em reproduzir a arquitetura funcional de um CLP — entradas isoladas, unidade de processamento e saídas de potência — utilizando uma plataforma de microcontrolador de baixo custo, associada a um ambiente de programação Ladder acessível (ARDUINO, 2026; LDMICRO, 2026). Essa abordagem didática não substitui o estudo de CLPs industriais comerciais, mas permite que o estudante compreenda, na prática e em nível de componente, os princípios elétricos que normalmente permanecem ocultos dentro do invólucro de um equipamento industrial fechado, como a isolamento galvânica entre campo e lógica, o condicionamento de sinais analógicos e o acionamento de cargas por meio de drivers de corrente.

Este trabalho tem como objeto de estudo o desenvolvimento de um CLP didático/industrial baseado na plataforma Arduino Nano, programável em linguagem Ladder por meio do software livre LDmicro (LDMICRO, 2026). O equipamento foi concebido com isolamento galvânica nas

³matttheuus4444@gmail.com

quatro entradas digitais, condicionamento de sinal nas duas entradas analógicas, acionamento de quatro saídas a relé por meio de driver de corrente, alimentação externa de 24 V convertida para 5 V, e barramentos auxiliares de comunicação I2C e serial, com fixação prevista em trilho DIN de 35 mm, no padrão construtivo de painéis elétricos industriais. A escolha do Arduino Nano, em detrimento de outras placas da família Arduino, justifica-se por seu formato compacto e pela presença de conversor USB-serial integrado, o que dispensa adaptadores externos durante a fase de programação e depuração do firmware Ladder.

A justificativa para a escolha do tema está na carência de equipamentos didáticos de automação de baixo custo que reproduzam, de forma fiel, os princípios de isolamento elétrico e condicionamento de sinal presentes em CLPs comerciais, permitindo que o aprendizado teórico de disciplinas de automação industrial seja imediatamente verificado em bancada. O problema de pesquisa consiste em verificar se uma arquitetura baseada em Arduino Nano, isolamento por optoacopladores (ON SEMICONDUCTOR, 2026) e acionamento por relés (SONGLE, 2026) é capaz de atender, com segurança elétrica adequada, aos requisitos funcionais de um CLP didático, sem comprometer a integridade do microcontrolador frente a distúrbios da tensão de campo. A hipótese adotada é a de que essa arquitetura reproduz, em escala reduzida e de baixo custo, o comportamento funcional de um CLP industrial, sendo adequada tanto à demonstração didática quanto à aplicação prática em processos de automação de pequeno porte, como o controle de sistemas de irrigação ou a partida de motores com intertravamento.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do hardware do CLP e consolidar, em um único documento, o manual do usuário e o manual técnico do equipamento, descrevendo os procedimentos de instalação, operação, manutenção e diagnóstico de falhas. Como objetivos específicos, buscou-se: (i) especificar os componentes eletrônicos de cada bloco funcional do circuito a partir de datasheets de fabricantes; (ii) verificar a compatibilidade elétrica entre os blocos, de modo a assegurar que nenhum componente opere próximo de seus limites de corrente ou tensão; e (iii) estruturar a documentação de forma a atender tanto ao operador final do equipamento quanto ao técnico responsável por sua manutenção. O método proposto baseia-se na documentação técnica do esquemático elétrico do projeto, complementada pela especificação de datasheet dos componentes utilizados (TEXAS INSTRUMENTS, 2026; STMICROELECTRONICS, 2026).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um CLP é definido como um sistema digital que utiliza memória programável para armazenar instruções que implementam funções de lógica, sequenciamento, temporização, contagem e operações aritméticas, controlando processos por meio de módulos de entrada e saída digitais e analógicos (GEORGINI, 2015). Sua estrutura básica compreende três blocos funcionais: entradas (sensores, botoeiras e chaves), unidade de processamento (CPU) e saídas (atuadores, contadores e relés). Em aplicações didáticas, a reprodução dessa arquitetura com microcontroladores de baixo custo permite que estudantes compreendam, de forma prática, os princípios que fundamentam os CLPs comerciais, aproximando a bancada de ensino da realidade de um painel elétrico industrial.

A isolamento galvânica entre a etapa de campo (24 V) e a etapa de processamento (5 V do microcontrolador) é um requisito de segurança essencial em sistemas de automação, pois evita que sobretensões, ruídos elétricos ou falhas na fiação de campo danifiquem o microcontrolador. O optoacoplador PC817, empregado nas quatro entradas digitais deste projeto, é composto por um LED infravermelho e um fototransistor encapsulados juntos, sem contato elétrico direto entre a entrada e a saída, de modo que qualquer distúrbio elétrico no barramento de 24 V não se propaga ao Arduino (ON SEMICONDUCTOR, 2026). O princípio de funcionamento baseia-

se na conversão do sinal elétrico de entrada em luz infravermelha pelo LED interno, que, por sua vez, satura o fototransistor do lado de saída, reproduzindo o estado lógico da entrada sem qualquer caminho elétrico comum entre os dois lados do componente.

O acionamento de cargas de maior potência a partir de sinais lógicos de baixa corrente é tipicamente realizado por meio de drivers de corrente, como o circuito integrado ULN2003AN, composto por sete pares Darlington capazes de comutar cargas indutivas com proteção interna por diodos de roda livre (*flyback*) (TEXAS INSTRUMENTS, 2026). Esses diodos internos são particularmente importantes no acionamento de bobinas de relés, pois absorvem a energia armazenada no campo magnético da bobina no instante do desligamento, evitando picos de tensão que poderiam danificar o próprio driver. No presente projeto, o ULN2003AN aciona quatro relés eletromecânicos SRD-05VDC-SL-C, responsáveis pela comutação das cargas externas conectadas às saídas do CLP (SONGLE, 2026), cada um operando como uma chave eletricamente isolada entre o circuito de controle de 5 V e a carga externa comutada.

Por fim, o LDmicro é um software de código aberto que permite programar microcontroladores da família AVR, como o utilizado no Arduino Nano (ARDUINO, 2026), em linguagem Ladder (diagrama de contatos), compilando a lógica diretamente para código de máquina, sem necessidade de escrever instruções em C/C++ (LDMICRO, 2026). Essa abordagem aproxima o ambiente de programação do CLP didático da linguagem utilizada em CLPs industriais reais, permitindo que o estudante desenvolva lógicas de intertravamento, temporização e contagem com os mesmos símbolos gráficos (contatos normalmente abertos e fechados, bobinas, temporizadores) empregados em softwares de programação de CLPs comerciais, o que facilita a transferência de conhecimento para equipamentos profissionais no mercado de trabalho.

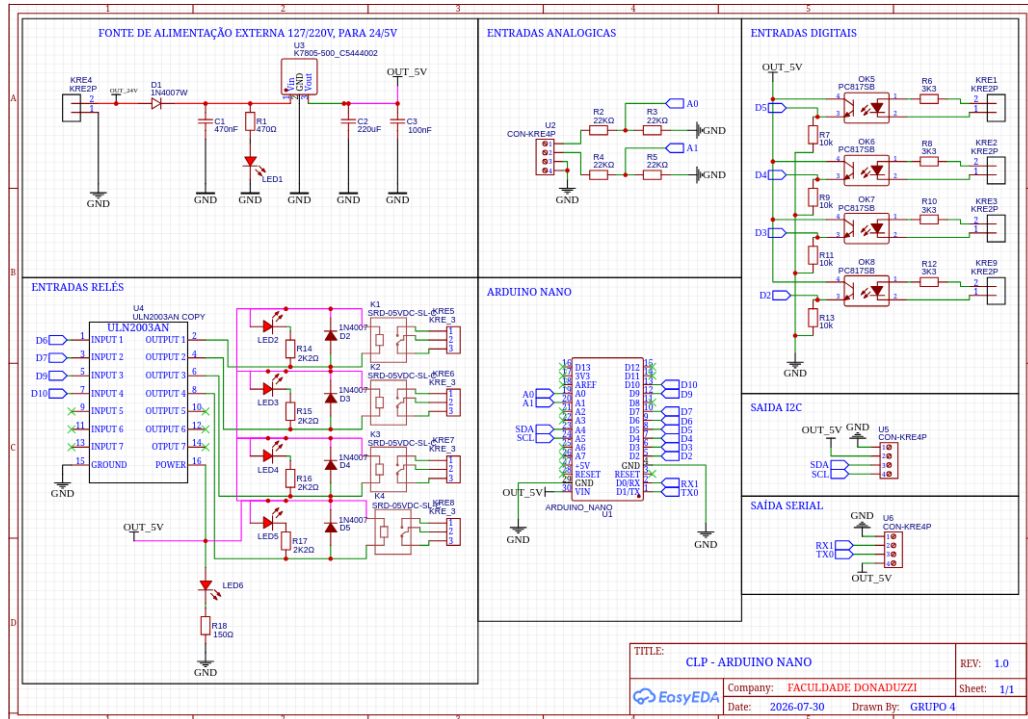
3 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de desenvolvimento tecnológico, de abordagem qualitativa e descritiva, cujo caso escolhido para análise é o próprio CLP didático projetado pelo grupo no âmbito do Projeto Integrador de Extensão II. O delineamento metodológico seguiu três etapas principais: (i) levantamento e especificação dos componentes eletrônicos a partir de datasheets de fabricantes (ON SEMICONDUCTOR, 2026; TEXAS INSTRUMENTS, 2026; SONGLE, 2026; STMICROELECTRONICS, 2026), de modo a assegurar que cada componente selecionado atendesse às exigências elétricas do bloco funcional ao qual pertence; (ii) elaboração do esquemático elétrico da placa de circuito impresso (PCB) no software EasyEDA, organizando o circuito em cinco blocos funcionais — fonte de alimentação, entradas digitais, entradas analógicas, saídas a relé e saídas auxiliares de comunicação —; e (iii) consolidação da documentação técnica em um manual único, estruturado para atender tanto ao operador final do equipamento quanto ao técnico responsável por sua manutenção.

A técnica de coleta de dados consistiu na análise direta do esquemático elétrico do projeto e na comparação dos valores de componentes especificados (resistores, diodos, optoacopladores, driver de corrente e relés) com os parâmetros elétricos informados nos respectivos datasheets, de modo a verificar a compatibilidade de tensões e correntes entre os blocos do circuito. Essa comparação foi conduzida bloco a bloco, partindo da entrada de alimentação até a saída de potência, de forma a identificar eventuais pontos em que um componente pudesse operar além de seus limites nominais ou, inversamente, em que a margem de segurança disponível fosse insuficiente para garantir confiabilidade operacional. A análise dos dados foi qualitativa, por meio da verificação da coerência elétrica entre os blocos funcionais e da identificação de pontos críticos de falha, sintetizados em um quadro de diagnóstico técnico elaborado a partir da experiência de montagem e dos testes de bancada realizados pelo grupo durante o desenvolvimento do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 1: Esquemático elétrico do CLP baseado em Arduino Nano



Fonte: Autores (2026).

A arquitetura do CLP foi estruturada em cinco blocos funcionais interligados na mesma placa de circuito impresso, conforme ilustrado na Figura 1. A fonte de alimentação converte a tensão externa de 24 V, sendo esta reduzida para 5 V por meio de um regulador linear step-down, com proteção contra inversão de polaridade por diodo retificador e filtragem por capacitores de desacoplamento em ambos os estágios de tensão. Essa etapa é fundamental para o restante do circuito, pois qualquer instabilidade na tensão de 5 V se propagaria diretamente para o Arduino Nano e para os circuitos de condicionamento de sinal, podendo comprometer a leitura das entradas analógicas e a estabilidade do processamento Ladder.

As quatro entradas digitais recebem sinais de 5 V provenientes de campo e são isoladas galvanicamente por optoacopladores PC817SB, com resistores limitadores de corrente de 10 k Ω do lado de entrada e de 3,3 k Ω do lado de saída, condicionando o sinal aos níveis lógicos do Arduino Nano (ON SEMICONDUCTOR, 2026). As duas entradas analógicas utilizam divisores resistivos de 22 k Ω para atenuar a tensão de campo à faixa compatível com o conversor analógico-digital do microcontrolador, permitindo a leitura de sinais proporcionais, como os provenientes de potenciômetros ou sensores de posição linear, sem a necessidade de um circuito de condicionamento mais complexo.

As quatro saídas a relé são acionadas pelo driver ULN2003AN, que energiza as bobinas dos relés eletromecânicos SRD-05VDC-SL-C, protegidos por diodos de roda livre contra transitórios de comutação, com indicação visual individual por LED (TEXAS INSTRUMENTS, 2026; SONGLE, 2026). O barramento I2C e a porta serial do Arduino Nano foram disponibilizados em conectores independentes, permitindo a expansão do sistema com módulos externos, como displays de cristal líquido ou comunicação com um sistema supervisor externo, ampli-

ando as possibilidades de uso do equipamento além da aplicação estritamente didática.

A Tabela 1 apresenta o quadro de diagnóstico de falhas elaborado a partir da análise de coerência elétrica entre os blocos funcionais do equipamento, consolidando os sintomas mais prováveis de serem observados durante os testes de bancada e a correspondente ação corretiva recomendada.

Tabela 1: Diagnóstico de falhas comuns do CLP

Sintoma	Causa provável	Ação recomendada
LED de alimentação apagado	Fonte 24 V desconectada; regulador 5 V queimado	Verificar tensão na saída do regulador
Entrada digital não responde	Optoacoplador PC817SB danificado	Testar continuidade e substituir o optoacoplador
Leitura analógica incorreta	Divisor resistivo fora de tolerância	Recalibrar o canal e verificar o aterramento
Saída a relé não aciona	Falha no ULN2003AN; bobina do relé aberta	Testar o relé e o driver isoladamente

Fonte: Autores (2026).

A análise de coerência elétrica entre os blocos funcionais mostrou que os níveis de tensão e corrente especificados nos datasheets dos componentes são compatíveis entre si em toda a cadeia de sinal do equipamento. A corrente máxima de saída do optoacoplador PC817SB (50 mA) é suficiente para acionar a entrada do Arduino Nano sem necessidade de condicionamento adicional (ON SEMICONDUCTOR, 2026), e a corrente máxima de saída do driver ULN2003AN (500 mA por canal) excede com margem a corrente de acionamento da bobina do relé SRD-05VDC-SL-C, de aproximadamente 70 mA, calculada a partir da resistência de bobina de 70 Ω em 5 V (TEXAS INSTRUMENTS, 2026; SONGLE, 2026). Essa margem de aproximadamente sete vezes a corrente necessária garante que o driver opere bem distante de seus limites térmicos, mesmo diante de variações de tensão de alimentação ou de tolerância de fabricação da bobina do relé entre diferentes lotes de componentes.

A elaboração do quadro de diagnóstico de falhas (Tabela 1) evidenciou que a maior parte dos problemas potenciais do equipamento concentra-se em três pontos críticos: a fonte de alimentação, a isolamento das entradas digitais e o acionamento das saídas a relé, o que reforça a importância de procedimentos de verificação específicos para cada bloco antes de se considerar uma falha como definitiva. Essa constatação é coerente com a literatura de manutenção de sistemas eletrônicos de automação, segundo a qual os pontos de interface entre diferentes níveis de tensão — neste caso, 24 V de campo e 5 V de lógica — concentram a maior incidência de falhas por serem justamente onde ocorre a maior solicitação elétrica dos componentes de proteção e isolamento.

A unificação, em um único documento, das instruções destinadas ao operador final e das instruções técnicas de manutenção mostrou-se adequada para atender a dois públicos distintos sem fragmentar a documentação do projeto, aproximando a experiência do usuário final da linguagem empregada em manuais de equipamentos industriais comerciais, nos quais é comum a coexistência de uma seção de operação simplificada e um apêndice técnico voltado à manutenção especializada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do CLP didático baseado em Arduino Nano demonstrou ser uma alternativa viável e de baixo custo para a reprodução dos princípios de isolamento elétrico, con-

dicionamento de sinal e acionamento de cargas presentes em CLPs industriais comerciais. A arquitetura projetada — com isolamento galvânica das entradas digitais por optoacopladores, condicionamento resistivo das entradas analógicas e acionamento das saídas por driver de corrente e relés — confirmou a hipótese de que o equipamento reproduz, em escala reduzida, o comportamento funcional de um CLP real, atendendo aos requisitos de segurança elétrica esperados mesmo em um contexto didático. A verificação de coerência elétrica entre todos os blocos funcionais, apresentada na seção de resultados, mostrou que não há incompatibilidade de tensão ou corrente entre nenhum dos componentes especificados, o que confere ao equipamento um grau de confiabilidade compatível com seu uso em bancadas de ensino de automação industrial.

A documentação consolidada em manual único, dividido entre instruções de operação e instruções técnicas de manutenção, revelou-se adequada para os dois públicos de uso do equipamento, contribuindo tanto para a formação prática dos próprios desenvolvedores quanto para o uso do CLP como material didático em disciplinas futuras de automação. Essa consolidação documental representa, por si só, uma contribuição relevante do trabalho, uma vez que grande parte dos projetos didáticos de automação carece de documentação formal que permita sua reutilização por terceiros sem o acompanhamento direto dos autores originais.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a inclusão de rotinas de autoteste no firmware, capazes de verificar automaticamente a integridade dos canais de entrada e saída durante a inicialização do equipamento, bem como a validação experimental de programas Ladder de aplicação, como partida direta de motor com intertravamento e controle temporizado, de modo a comprovar em bancada, com cargas reais, as margens de segurança elétrica identificadas teoricamente a partir dos datasheets dos componentes utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. *Arduino Nano Documentation*. Disponível em:

<https://docs.arduino.cc/hardware/nano>. Acesso em: 20 ago. 2026.

GEORGINI, Marcelo. *Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs*. 11. ed. São Paulo: Érica, 2015.

LDMICRO. *LDmicro — Ladder Logic for PIC and AVR Microcontrollers*. Disponível em:

<https://cq.cx/ladder.pl>. Acesso em: 20 ago. 2026.

ON SEMICONDUCTOR. *PC817 Photocoupler Series Datasheet*. Disponível em:

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/pc817-d.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2026.

SONGLE. *SRD-05VDC-SL-C Relay Datasheet*. Disponível em:

<https://www.songle.com>. Acesso em: 20 ago. 2026.

STMICROELECTRONICS. *L7805 Series Positive Voltage Regulators Datasheet*. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l7805.pdf>. Acesso em: 13 set. 2026.

TEXAS INSTRUMENTS. *ULN2003A High-Voltage, High-Current Darlington Transistors Datasheet*. Disponível em:

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2026.