Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE RELÉS TÉRMICOS DE PROTEÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO

DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL TEST BENCH FOR ANALYZING THE BEHAVIOR OF THERMAL OVERLOAD RELAYS IN INDUCTION MOTOR PROTECTION

Leonardo Zoletti Pedry, Pedro Eduardo da Cruz Santos, Vinicius Braga Arruda, Alexandre Shozo Onuki

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica
E-mails para contato: lp215896@alunos.unisanta.br, ps222363@alunos.unisanta.br, va215267@alunos.unisanta.br e onuki@unisanta.br

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada didática experimental para análise do comportamento de relés térmicos de proteção contra sobrecarga. O protótipo integra um Variac e um transformador de máquina de solda, acionamento automatizado por motor de passo e Arduino Mega 2560, medição de corrente e monitoramento termográfico com Raspberry Pi e sensor MLX90640. A calibração foi realizada de 0 a 35 A, em 36 pontos, e o painel permite selecionar correntes de 1 a 32 A. Os ensaios demonstraram o funcionamento dos subsistemas e a aplicação da proposta como recurso de baixo custo para atividades laboratoriais de Engenharia Elétrica.

Palavras-chave: Relé térmico; Proteção de motores; Bancada didática; Controle de corrente; Termografia.

ABSTRACT – This study presents the development of an experimental educational bench for analyzing thermal overload relay behavior. The prototype integrates a variable autotransformer and a welding-machine transformer, an Arduino Mega 2560-controlled stepper motor, current measurement, and thermal monitoring with a Raspberry Pi and MLX90640 sensor. Current calibration covered 0 to 35 A at 36 measurement points, while the operator panel provides current settings from 1 to 32 A. The tests demonstrated the operation of the main subsystems and the suitability of the low-cost prototype as a practical teaching resource in electrical engineering laboratories.

Keywords: Thermal overload relay; Motor protection; Educational test bench; Current control; Thermography.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Os motores de indução são amplamente empregados em instalações industriais e dependem de dispositivos de proteção para preservar suas condições de operação. Entre esses dispositivos, os relés térmicos de sobrecarga atuam diante de condições de corrente que provocam aquecimento associado ao funcionamento do motor.

A compreensão desse mecanismo é importante para a formação em Engenharia Elétrica, uma vez que relaciona conceitos de máquinas elétricas, proteção e comportamento térmico dos componentes (IEC, 2020; Schneider Electric, 2018), para essa finalidade, torna-se relevante dispor de uma bancada com regulagem controlada, indicação das grandezas elétricas e visualização termográfica, organizada de modo a favorecer a operação e a interpretação dos resultados em laboratório.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de bancada didática experimental destinado à análise do comportamento de relés térmicos de proteção contra sobrecarga. O desenvolvimento contempla a definição da estrutura para geração e ajuste da corrente, a automação eletromecânica do *Variac*, a calibração do sistema de medição, o monitoramento termográfico e a construção de um painel de controle que reúna essas funções. A proposta prioriza simplicidade de operação, utilização de componentes acessíveis e aplicação em atividades práticas de Engenharia Elétrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui caráter aplicado e experimental e foi desenvolvida em etapas sucessivas. Inicialmente, foram definidos os requisitos de operação da bancada e comparados os equipamentos disponíveis para geração de corrente, resultando na seleção do conjunto Variac–transformador. Em seguida, desenvolveu-se o acionamento eletromecânico do Variac, composto por motor de passo, redutora, acoplamento e sensores de fim de curso, e implementou-se o controle no Arduino Mega 2560. Na etapa de medição, o transformador de corrente foi caracterizado e calibrado com apoio de osciloscópio, e os dados obtidos foram incorporados ao firmware para realimentação do ajuste automático. Paralelamente, foi implementado o sistema de monitoramento termográfico com Raspberry Pi e sensor MLX90640. Por fim, os subsistemas foram integrados, definiu-se o layout do painel segundo a

ISSN 2317-1316

sequência de operação, realizou-se a montagem física e foram executados ensaios funcionais de regulagem, supervisão e aquisição térmica.

2.1 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA E SELEÇÃO DO TRANSFORMADOR

O conjunto de potência foi projetado para aplicar corrente controlada ao relé térmico por meio da associação entre um Variac monofásico e um transformador com alta capacidade de geração de corrente.

O Variac disponível no laboratório possui entrada de 220 V, saída ajustável de 0 a 240 V, frequência de 50/60 Hz e corrente nominal de 12 A, permite variar gradualmente a tensão de alimentação do primário do transformador, tal dispositivo foi apresentado na figura 1.

Figura 1: Variac monofásico utilizado para o ajuste gradual de tensão.



Para a definição do transformador, foram avaliados três equipamentos disponíveis em laboratório, sem dados de placa completos: um autotransformador trifásico e dois transformadores, sendo um proveniente de aparelho de solda odontológica e outro de máquina de solda convencional. A avaliação considerou o fornecimento de corrente e a adequação do conjunto à aplicação pretendida. Na etapa comparativa, também foi utilizada uma carga formada por 100 m de cabo de 1,5 mm², com resistência de 1,4 Ω, medida com micro-ohmímetro. Os resultados de referência são apresentados na Tabela 1.

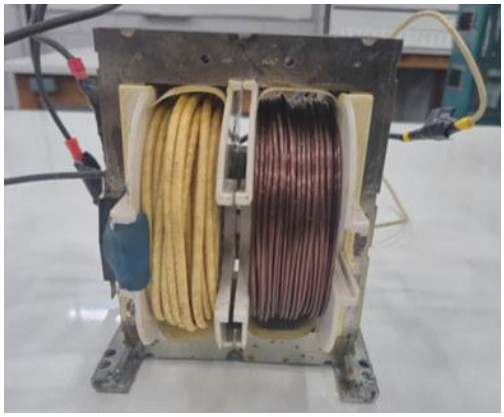
Tabela 1: Comparação experimental de equipamentos para geração de corrente

Equipamento	**Condição de entrada**	**Corrente de saída**
Autotransformador trifásico	208 V / 6,0 A	12 A
Transformador de solda odontológica	200 V	0 A
Transformador de máquina de solda	241 V / 6,0 A	21,1 A

ISSN 2317-1316

O transformador da máquina de solda convencional foi selecionado por apresentar o resultado mais adequado entre os equipamentos analisados. Após a escolha, realizou-se ensaio específico com 240 V e 10,5 A registrados na entrada do transformador, obtendo-se 36 A na saída. Esse resultado complementou sua caracterização experimental e demonstrou capacidade de fornecimento superior à faixa de corrente selecionável no painel, cujo limite de ajuste foi estabelecido em 32 A. A Figura 2 apresenta o transformador escolhido.

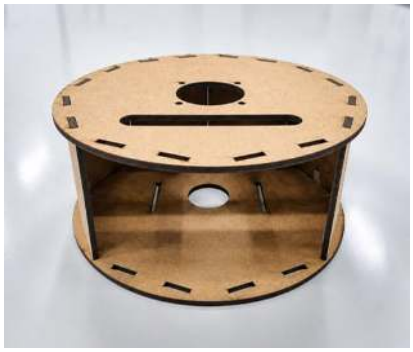
Figura 2: Transformador de máquina de solda convencional selecionado para a bancada.



2.2 AUTOMAÇÃO DO ACIONAMENTO DO VARIAC

O ajuste mecânico do Variac foi automatizado por um motor de passo NEMA 17, modelo VZS1760-065-1206, com ângulo nominal de 1,8° por passo e torque informado de 6,5 kgf·cm (Vurtz, 2026). A transmissão utiliza uma redutora planetária com relação de aproximadamente 3,7:1 e um acoplamento flexível, destinados a proporcionar torque e ajuste angular compatíveis com o eixo do equipamento. Foi confeccionado um suporte em MDF para sustentação do conjunto e posicionamento dos sensores, conforme a Figura 3.

Figura 3: Estrutura em MDF para instalação do motor de passo e dos sensores.



ISSN 2317-1316

O acionamento elétrico utiliza o módulo de ponte H L298N (STMicroelectronics, 2026), comandado por quatro sinais digitais do Arduino Mega 2560 (Arduino, 2026). Dois sensores indutivos identificam as extremidades do deslocamento mecânico, permitindo referenciar a posição inicial e limitar o movimento. A rotina de comando coordena sentido, sequência de energização e intervalos dos passos, preservando o posicionamento do Variac durante as etapas de ajuste e de aplicação de corrente.

2.3 CALIBRAÇÃO DO TRANSFORMADOR DE CORRENTE

A corrente aplicada é acompanhada por um transformador de corrente (TC) de relação nominal 100 A:50 mA, conectado ao circuito de condicionamento e à entrada analógica do Arduino Mega 2560. O sistema de aquisição utiliza o conversor analógico-digital de 10 bits do microcontrolador. No programa analisado, são coletadas 200 amostras à frequência nominal de 2 kHz, formando janelas de 100 ms. A componente contínua é removida pela média das amostras e calcula-se o valor eficaz da componente alternada, que é convertido em um índice de calibração.

A calibração final foi realizada na faixa de 0 a 35 A, totalizando 36 pontos medidos. O procedimento envolveu a comparação dos valores de corrente aplicados com a resposta do circuito de medição, com utilização de osciloscópio como instrumento de referência para acompanhamento e verificação do sinal elétrico. Os valores obtidos serviram à parametrização de uma tabela de correspondência no firmware, que emprega interpolação linear entre pontos consecutivos, permitindo converter o índice de aquisição em corrente expressa em ampères.

Para estabilização da informação apresentada ao operador e utilizada no controle, o algoritmo aplica filtro exponencial com fator de suavização 0,15. As Figuras 4 e 5 reúnem registros gráficos produzidos durante o desenvolvimento da calibração, respectivamente a comparação das leituras com valores de referência e a representação dos erros percentuais dos pontos de verificação. Esses registros integram a documentação do procedimento de calibração do TC.

ISSN 2317-1316

Figura 4: Comparação entre as correntes de referência e as leituras em uma série de verificação da calibração.

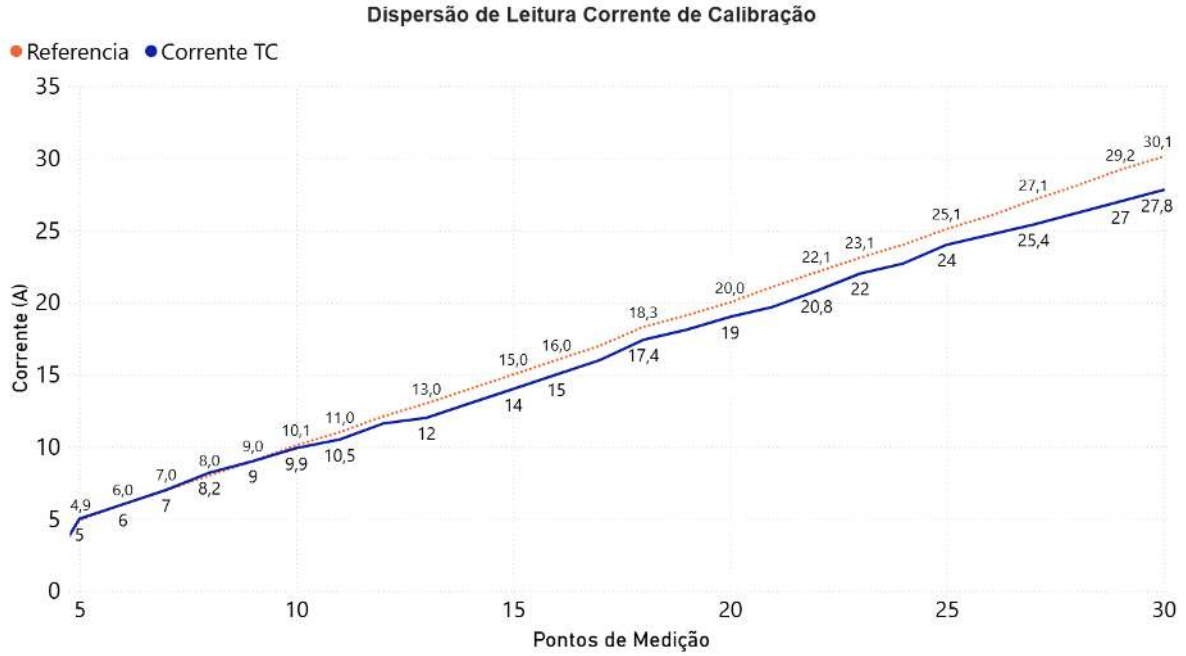
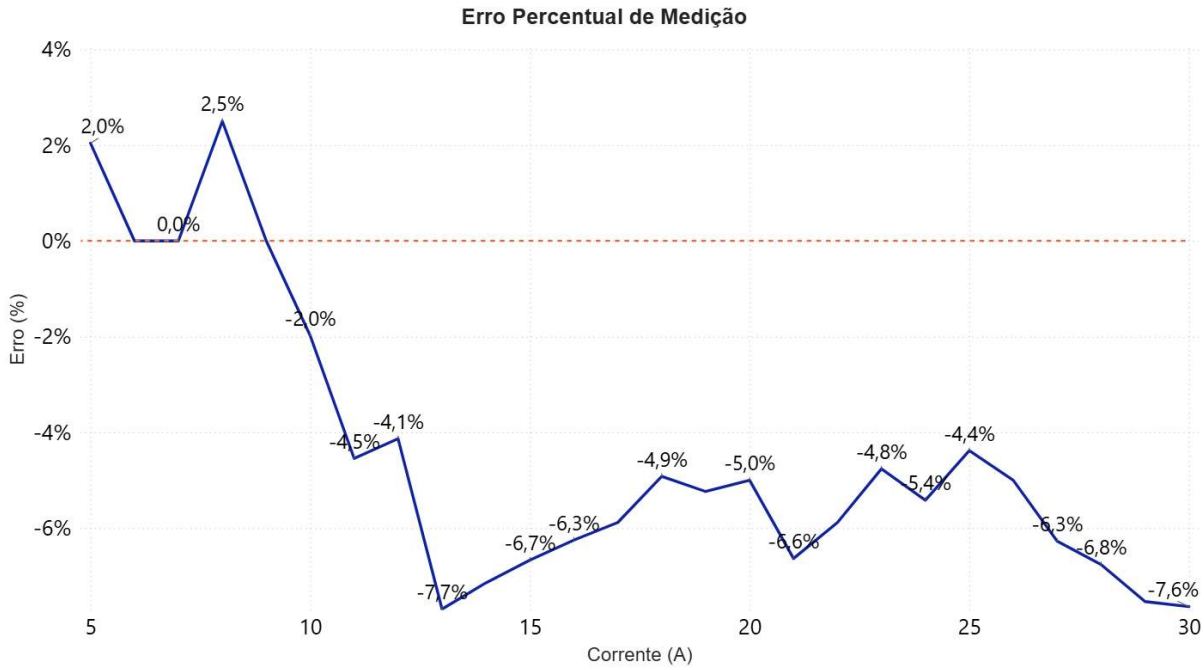


Figura 5: Registro do erro percentual em uma série de verificação da calibração.



ISSN 2317-1316

Os registros das Figuras 4 e 5 mostram boa aderência entre as leituras calibradas e os valores de referência nas menores correntes. A partir de aproximadamente 10 A, observa-se tendência de subleitura, com aumento gradual do desvio ao longo da faixa analisada. Na série apresentada, o erro percentual máximo foi de aproximadamente −7,7%, com média de −4,43%, permanecendo os pontos dentro de ±8%. A interpolação entre os pontos calibrados e o filtro exponencial contribuíram para manter a continuidade e a estabilidade das leituras utilizadas pelo sistema de controle.

2.4 INTEGRAÇÃO DO ACIONAMENTO E DA MEDIÇÃO DE CORRENTE

A lógica de operação foi implementada no Arduino Mega 2560, integrando a leitura das chaves seletoras, a aquisição do TC, o controle do motor de passo e a supervisão dos estados de funcionamento. O operador escolhe um valor-base de 1, 2, 3 ou 4 A e um multiplicador de 1, 3, 5 ou 8 vezes. O produto dessas posições determina o valor de referência a ser alcançado, oferecendo correntes selecionáveis entre 1 e 32 A conforme as combinações disponíveis no painel.

Na inicialização, o sistema executa o retorno do Variac à posição zero, tomando o sensor indutivo como referência. Após a energização e o comando de início no modo Ajuste, o microcontrolador compara continuamente a corrente medida com o valor selecionado e determina o sentido de rotação do motor: horário para aumentar a corrente ou anti-horário para reduzi-la. O deslocamento é realizado com intervalos de 50 ms entre passos no movimento mais rápido e de 120 ms quando o erro absoluto se aproxima de 2 A, favorecendo o posicionamento progressivo.

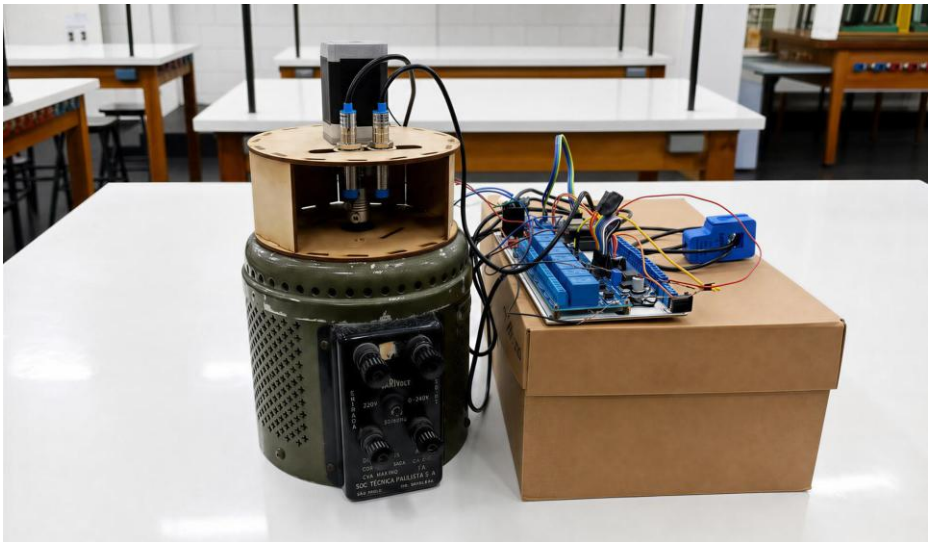
Ao atingir a faixa de tolerância programada de ±0,25 A, o motor é interrompido e a corrente é verificada em duas etapas sucessivas, de 2 s cada. Confirmado o ajuste, a corrente é desligada e o Variac permanece na posição definida, permitindo ao operador selecionar o modo Teste e iniciar a aplicação de corrente na conexão destinada ao relé. Durante o teste, o acionamento do Variac permanece parado, enquanto o sistema acompanha os sinais de comando e supervisão.

A programação incorpora acompanhamento dos fins de curso, confirmação do estado do contator por contatos auxiliares, supervisão dos sinais de atuação do relé e comando de

ISSN 2317-1316

finalização. Ao terminar o procedimento, a corrente é interrompida e o Variac retorna automaticamente à posição inicial, deixando o conjunto preparado para outro ensaio. A Figura 6 apresenta a montagem utilizada no desenvolvimento e nos testes da integração entre controle, sensoriamento e acionamento.

Figura 6: Montagem de desenvolvimento do conjunto Variac, motor de passo e circuitos de controle.



2.5 SISTEMA DE MONITORAMENTO TERMOGRÁFICO

O acompanhamento da temperatura superficial é realizado por um sensor infravermelho MLX90640BAA, que fornece uma matriz de 32 × 24 elementos, totalizando 768 pontos de medição por quadro. O dispositivo se comunica com um Raspberry Pi pelo barramento I²C, enquanto a aquisição e a apresentação dos dados são executadas em aplicação desenvolvida em Python, utilizando a biblioteca Tkinter. Dessa forma, a aquisição termográfica fica a cargo do Raspberry Pi e o comando elétrico permanece concentrado no Arduino Mega 2560.

A parametrização adotada para o monitoramento utiliza barramento I²C a 200 kHz e atualização nominal de 4 Hz. A interface apresenta a distribuição de temperatura em mapa de cores, informa os valores de temperatura máxima, média e mínima do campo observado e permite definir os limites da escala térmica. O acompanhamento é atualizado durante a operação, possibilitando visualizar, em tempo real, as condições térmicas superficiais do componente em ensaio.

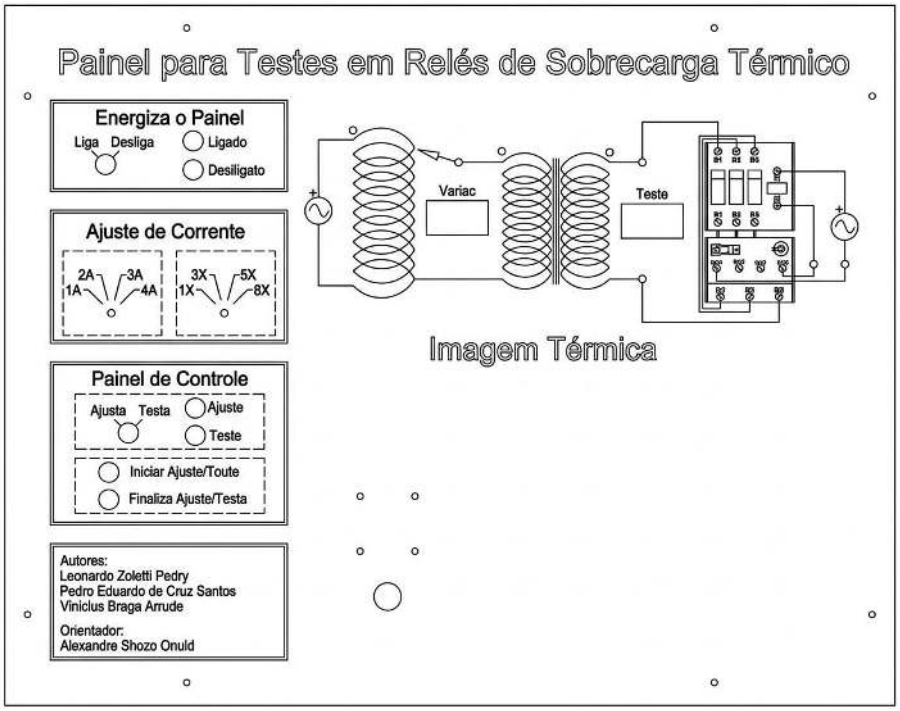
ISSN 2317-1316

2.6 CONCEPÇÃO DO *LAYOUT* E MONTAGEM DO PAINEL

A concepção da face do painel considerou a sequência natural de operação da bancada e a identificação visual dos conjuntos funcionais. Na região esquerda foram organizados os comandos de energização, as seletoras para ajuste da corrente, a chave Ajuste/Teste e os botões para início e finalização. Na região superior central, o desenho representa a associação Variac–transformador, com instrumentos de indicação posicionados próximos dos respectivos pontos de medição. À direita foi prevista a conexão do relé por uma única saída de ensaio, conforme a configuração física adotada no projeto.

A porção inferior do painel foi reservada à tela do sistema termográfico, enquanto o Arduino Mega 2560 e o Raspberry Pi ficaram dispostos em área de instalação acessível para inspeção e manutenção. Essa composição permite ao estudante identificar os elementos da bancada, definir a corrente e acompanhar as indicações elétricas e térmicas em uma interface integrada. A Figura 7 apresenta o desenho de concepção do painel que orientou sua montagem.

Figura 7: Layout da face do painel definido para a bancada de ensaios.



ISSN 2317-1316

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos após a integração dos subsistemas da bancada. São discutidos o desempenho da geração e regulagem da corrente, a aplicação do monitoramento termográfico e a montagem do painel final, relacionando os ensaios realizados aos objetivos estabelecidos para o protótipo.

3.1 GERAÇÃO E REGULAGEM DA CORRENTE DE ENSAIO

A seleção do transformador de máquina de solda proporcionou uma fonte adequada à proposta experimental, associando a variação gradual de tensão do Variac à obtenção de correntes de ensaio no secundário. Na caracterização específica do transformador foram registrados 240 V e 10,5 A de entrada, com 36 A de saída. Na configuração destinada ao usuário, a faixa de seleção do painel foi definida de 1 a 32 A, de acordo com os valores-base e multiplicadores previstos nas chaves seletoras.

A automação desenvolvida permite realizar o ajuste a partir do valor estabelecido no painel, utilizando a leitura do TC como realimentação para o posicionamento do Variac. O sistema contempla confirmação do ajuste, aplicação da corrente com o motor imobilizado na etapa de teste e retorno automático ao início quando o procedimento é encerrado. A associação entre acionamento eletromecânico, medição e supervisão reúne, em um único conjunto, funções essenciais à realização de atividades didáticas.

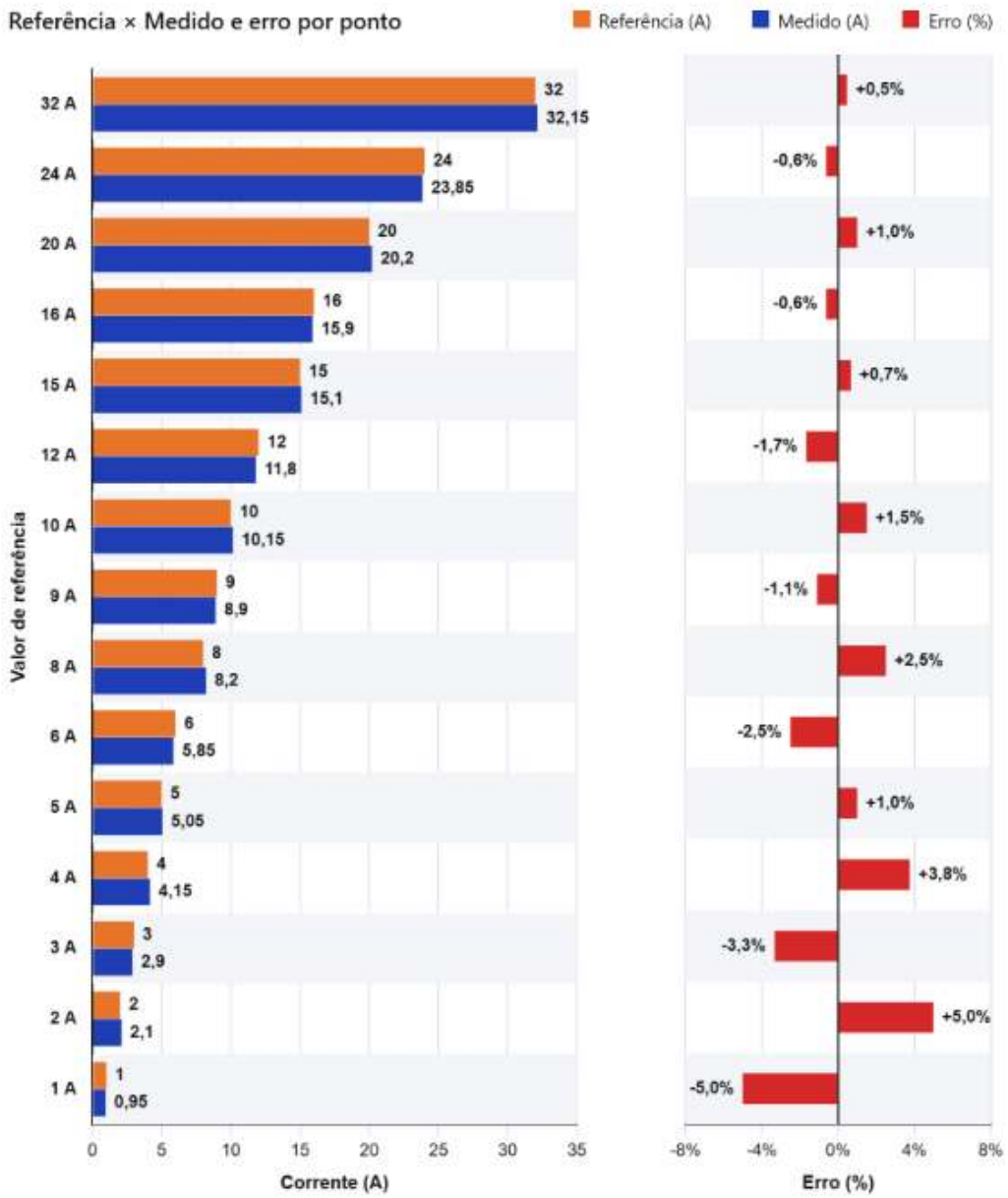
Para verificar o desempenho do sistema integrado de regulagem, foram realizados ensaios em diferentes valores de corrente de referência, abrangendo a faixa operacional disponível no painel. Em cada ponto, comparou-se o valor selecionado pelo operador com a corrente efetivamente medida pelo sistema após a conclusão do ajuste automático.

Os resultados demonstraram que as diferenças entre os valores de referência e medidos permaneceram dentro da tolerância de ±0,25 A estabelecida para o controle. O maior desvio absoluto observado foi de 0,20 A, enquanto o desvio absoluto médio foi de aproximadamente 0,13 A. Em termos percentuais, os maiores erros ocorreram nas menores correntes, atingindo aproximadamente ±5%, enquanto, para valores mais elevados, o erro relativo apresentou redução significativa, permanecendo próximo de zero.

ISSN 2317-1316

Dessa forma, o ensaio confirmou que a integração entre o TC, o Arduino Mega 2560 e o acionamento automatizado do Variac foi capaz de posicionar o sistema próximo aos valores definidos pelo usuário em toda a faixa analisada. A comparação entre os valores de referência, as correntes medidas e os respectivos erros percentuais é apresentada na Figura 8.

Figura 8: Comparação entre os valores de referência e os valores medidos de corrente (A) e erro percentual



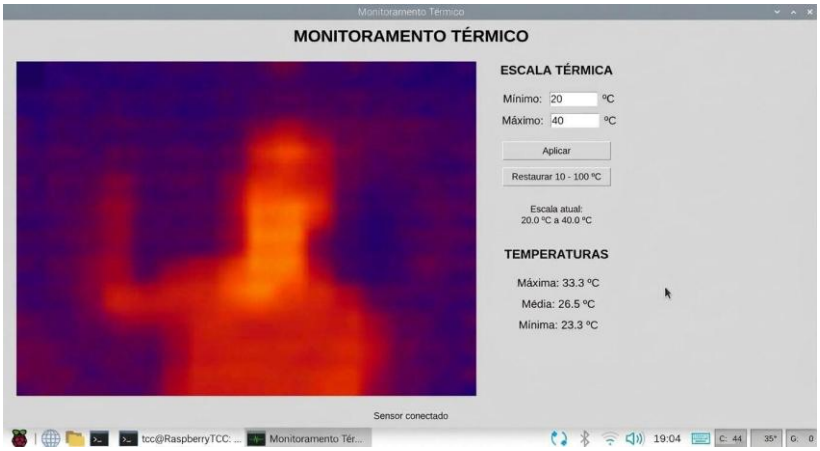
3.2 APLICAÇÃO DO SISTEMA TERMOGRÁFICO

A interface gráfica do monitoramento termográfico apresentou a distribuição espacial de temperatura e os indicadores numéricos atualizados durante a aquisição. A Figura 09 ilustra a

ISSN 2317-1316

visualização obtida no Raspberry Pi, com escala térmica configurável e indicação simultânea das temperaturas máxima, média e mínima. O recurso amplia as possibilidades de observação em laboratório ao disponibilizar a evolução do estado térmico superficial enquanto o circuito elétrico é acompanhado pelo operador.

Figura 09: Interface de aquisição termográfica em funcionamento no Raspberry Pi.



3.3 MONTAGEM E OPERAÇÃO DO PAINEL FINAL

O painel foi montado com os elementos distribuídos conforme a concepção apresentada anteriormente. A fotografia da Figura 10 mostra a organização dos comandos de energização, seleção de corrente e controle do ensaio, os instrumentos de indicação, a única conexão de saída para a carga e a tela destinada à apresentação da imagem térmica. O Arduino Mega 2560 e o Raspberry Pi também foram instalados em posição visível na face do conjunto, facilitando a compreensão da arquitetura utilizada.

Figura 10: Painel didático montado com comandos, instrumentos e sistema de monitoramento térmico.



ISSN 2317-1316

Na operação, o usuário define um valor de corrente por meio das duas seletoras, inicia o ajuste automatizado e acompanha as indicações do sistema. Uma vez concluído esse procedimento, a bancada permite iniciar a etapa de teste com a configuração de corrente selecionada. Essa disposição associa comando, visualização e aplicação de corrente em um equipamento destinado às práticas de proteção de motores elétricos. A seleção dos diferentes valores de corrente pode ser observada diretamente nos instrumentos do painel, permitindo registrar as indicações correspondentes às combinações previstas.

4 CONCLUSÃO

O protótipo apresentou funcionamento satisfatório nos testes realizados e atendeu ao objetivo de desenvolver uma bancada didática para análise de relés térmicos de proteção de motores de indução. A integração entre o conjunto Variac–transformador, o Arduino Mega 2560, o sistema de medição e o monitoramento termográfico permitiu selecionar e aplicar correntes de 1 a 32 A, com regulagem dentro da tolerância de ±0,25 A adotada pelo controle, confirmando a viabilidade da solução de baixo custo para atividades laboratoriais. Como continuidade, propõe-se o levantamento das curvas tempo × corrente de relés comerciais para comparação com os dados fornecidos pelos fabricantes.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se o ChatGPT, desenvolvido pela OpenAI, como apoio à revisão ortográfica, gramatical e linguística, à tradução de trechos, à organização e reformulação textual, sem alteração do conteúdo científico, e à programação, modelagem e análise de dados. O conteúdo produzido com auxílio da ferramenta foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo trabalho.

6 REFERÊNCIAS

As referências a seguir correspondem às fontes técnicas e normativas citadas ao longo do texto.

ARDUINO. Mega 2560 Rev3. Documentação técnica. Disponível em: https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/. Acesso em: 11 out. 2026.

ISSN 2317-1316

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC 60034-11: Rotating electrical machines: Part 11: Thermal protection. Genebra: IEC, 2020.

SCHNEIDER ELECTRIC. Motor protection: thermal overload relays and motor protection. 2018. Disponível em: https://www.productinfo.schneider-electric.com/tesysgigainstallationguide/tesys-giga-series-giga-contactors-and-giga-thermal-overload-relays-installation-guide/English. Acesso em: 14 mar. 2026.

STMICROELECTRONICS. L298: Dual full-bridge driver. Folha de dados. Disponível em: https://www.st.com/resource/en/datasheet/l298.pdf. Acesso em: 12 abr. 2026.

VURTZ. Motor de passo VZS1760-065-1206: datasheet técnico. Disponível em: https://curtocircuito.com.br/datasheet/VZS1760-065-1206.pdf. Acesso em: 12 abr. 2026.