DOI: 10.48011/asba.v2i1.1554

Instrumentação de Bancada Didática para Ensaios de Motores de Indução Trifásicos

Alexandre Alves Dalmolim*. Périson Pavei Uggioni**
Fernando Michelon Marques*. Anderson Daleffe******
Márcio Afonso de Souza*****

** Santa Catarina Federal Institute, Florianópolis, SC, 88020-300*
Brazil (Tel: 48-99969-6233; e-mail: alexandre.dalmolim@ifsc.edu.br).
*** Santa Catarina Federal Institute, Criciúma, SC, 88813-600*
Brazil (e-mail: perison.uggioni@ifsc.edu.br).
**** Santa Catarina Federal Institute, Chapecó, SC, 89813-000*
Brazil (e-mail: fernando.marques@ifsc.edu.br).
*****SATC College, Criciúma, SC, 88805-380*
Brazil (e-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br).
****** SATC College, Criciúma, SC, 88805-380*
Brazil (e-mail: souzamarcioafonsode@gmail.com).

Abstract: The electric induction motor it's the most used type of motor in the world, standing out in industrial applications, due to its robustness, versatility and low cost. In order to understand the functioning and behavior of electrical and mechanical parameters inherent to these machines, it is necessary to do test benches in the laboratories of institutes and universities. Thus, this work presents the development and application of instrumentation in a didactic bench for testing three-phase induction motors, belonging to the Electric Drives Laboratory of the Santa Catarina Federal Institute (IFSC) campus Criciúma. Changes in operating conditions and real-time data acquisition make the bench an important teaching resource for the laboratory.

Resumo: O motor elétrico de indução é o tipo de motor mais utilizado no mundo, destacando-se nas aplicações industriais, devido sua robustez, versatilidade e baixo custo. Para compreender o funcionamento e o comportamento de parâmetros elétricos e mecânicos inerentes a estas máquinas, faz-se necessárias bancadas didáticas de ensaio nos laboratórios de institutos e universidades. Desta forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de instrumentação em uma bancada didática de ensaio de motores de indução trifásicos, pertencente ao Laboratório de Acionamentos Elétricos do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) câmpus Criciúma. Alterações nas condições de funcionamento e aquisição de dados em tempo real fazem da bancada um importante recurso didático para o laboratório.

Keywords: Didactic bench; Induction motor; Motor test; Instrumentation.

Palavras-chaves: Bancada didática; Motor de indução; Ensaio; Instrumentação.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a quantidade de energia utilizada pelos motores elétricos é de aproximadamente 60% do total consumido no país (Ferreira, 2016). Ferreira afirma ainda que qualquer iniciativa que se desenvolva para aumentar o rendimento destes equipamentos, trás benefícios ambientais, energéticos e, principalmente, redução de custos, com aumento da competitividade. Segundo Araújo (2015), têm sido conduzidas atividades de pesquisa e de desenvolvimento de sistemas instrumentados, capazes de monitorar e diagnosticar motores em operação com o objetivo de conhecer suas condições de funcionamento em situações de cargas previsíveis, temperatura gerada pelos componentes do sistema e do ambiente, além de outras condições como fenômenos de eletromagnetismo, ruído e vibração.

Kirovski (1997 apud Jesus; Cavalcante, 2011) afirma que a engenharia sempre necessitou testar conceitos e aplicações em escala reduzida nas mais variadas áreas, e que com o desenvolvimento e evolução da eletrônica e instrumentação, o uso de sistemas experimentais para simulação e teste, tornou-se muito mais simples e usual, tendo em vista que sistemas computacionais de aquisição de dados e microprocessadores passaram a ser utilizados de forma mais disseminada.

Como consequência, o desenvolvimento de equipamentos didáticos de baixo custo, como bancadas de ensaios, compatíveis com a capacidade de investimento atual das universidades, é uma alternativa viável para minimizar a carência existente nos atuais cursos de engenharia dos países em desenvolvimento (Amorim, 2006).

O Laboratório de Acionamentos Elétricos do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) câmpus Criciúma, possui uma bancada de ensaio de motor de indução trifásico desenvolvida por alunos do curso técnico de Eletrotécnica. Embora funcional, com possibilidade de simular uma carga ao motor, esta bancada apresenta algumas limitações, como: necessidade de equipamentos externos (fontes eletrônicas, instrumentos de medição portáteis, chave de acionamento), falta de instrumentação para aquisição de dados de ensaio (torque, rpm, parâmetros elétricos) e impossibilidade de alterar o número de rotações do motor.

Este artigo apresenta o desenvolvimento e aplicação de instrumentação eletrônica em uma nova bancada didática construída com a finalidade de realizar ensaios de motores elétricos de indução trifásicos de forma otimizada. Através da aquisição de sinais de sensores e transdutores, grandezas elétricas e mecânicas, como: corrente, tensão, rpm, temperatura e torque do motor elétrico são disponibilizados a uma interface gráfica para monitoramento em tempo real dos parâmetros nos ensaios. Também serão apresentados os resultados de testes realizados.

2. METODOLOGIA

Para este trabalho adotou-se uma metodologia de desenvolvimento de produtos mecatrônicos de Castro (2015 apud Uggioni, 2017), representada pela Fig. 1.

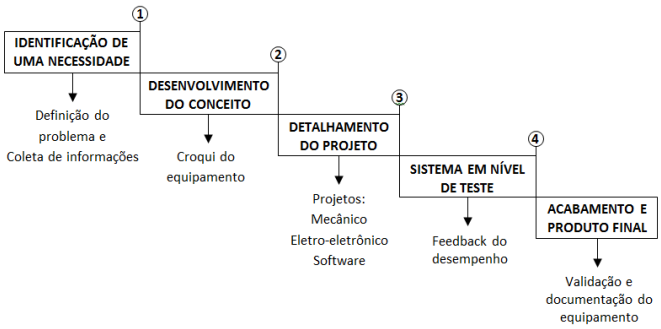

Fig. 1 Metodologia aplicada.

Após análises técnicas e de custo-benefício das soluções avaliadas, foi desenvolvido um conceito de funcionamento da máquina de ensaio, que ocorre da seguinte forma: através do quadro eletroeletrônico de controle, o operador liga/desliga o motor em teste, além de poder ajustar seu rpm (conversor de frequência foi utilizado). Consegue-se aumentar ou diminuir a carga mecânica aplicada ao motor, através de um sistema composto por bobinas elétricas e disco de alumínio (Freio de Foucault), sendo a variável de ajuste a corrente elétrica aplicada. Sensores e transdutores são responsáveis pela aquisição de dados para posterior tratamento e disponibilidade das grandezas elétricas e mecânicas.

Na etapa de projeto foi realizado o dimensionamento de componentes, por meio de critérios técnicos, de segurança, operacionais, e teve como base a utilização de motores com potência mecânica de saída máxima igual a 1CV e IV polos.

O diagrama de blocos da bancada de ensaio e sistema instrumentado é representado pela Fig. 2.

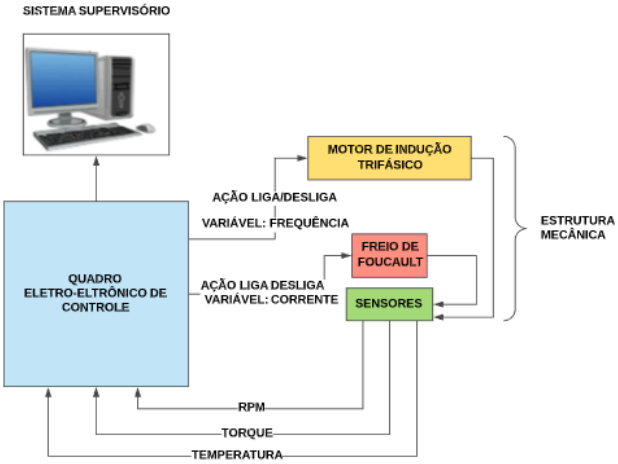

Fig. 2 Diagrama de blocos da bancada.

Na sequência foram realizados ajustes elétricos, calibração da instrumentação, ajustes mecânicos para posterior validação operacional e metrológica. A Fig. 3 apresenta a bancada de ensaio em teste.

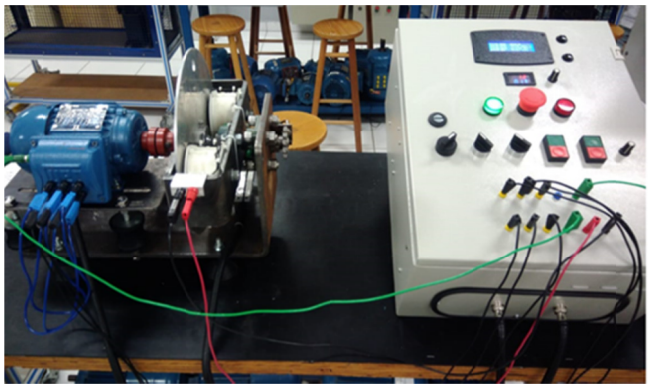

Fig. 3 Bancada de ensaio em teste de funcionamento.

3. INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação da bancada foi realizada para atender parâmetros de leituras definidos, sendo aplicado um sistema de aquisição de dados com sensores e transdutores, placas de condicionamento de sinal e de tratamento de dados, bem como supervisório e demais componentes que se fizeram necessários para o funcionamento de todo o sistema.

O sistema divide-se em: placa de controle, placas de condicionamento de sinal, programação do controlador e sistema supervisório.

3.1 Placa de controle

A placa de controle tem como principal componente o microcontrolador Atmega328P, o mesmo funciona com tensão de alimentação 5V, possui 23 entradas/saídas programáveis, sendo 6 destes canais para leituras analógicas, apresentando conversor A/D de 10 bits.

Este microcontrolador é utilizado nas placas de desenvolvimento tipo Arduino Uno, mas para este projeto

optou-se por desenvolver uma placa de controle dedicada. Esta opção se mostrou viável economicamente se comparada a possibilidade de utilizar Controlador Lógico Programável – CLP.

Desta forma, o microcontrolador foi configurado para realizar a leitura de seis grandezas analógicas: corrente elétrica das três fases de alimentação do motor, tensão elétrica, torque de frenagem e temperatura de uma bobina interna do motor elétrico.

As entradas e saídas digitais do microcontrolador receberam funções diversas: comunicação serial, controle do LCD (Display de Cristal Líquido), botão de reset, botões de navegação e troca de página do display e leitura de rpm do motor sob ensaio.

A placa de controle possui saída regulada de 5V e um circuito para conversão do padrão RS-485/TTL, utilizando um circuito integrado modelo MAX485, que permite comunicação com o sistema supervisório. Contêm também filtros passivos passa-baixa do tipo RC a montante das entradas analógicas do microcontrolador. Estes filtros foram projetados para terem frequência de corte de 160 Hz, com o objetivo de atenuar ruídos acima dessa frequência, já que os sensores utilizados disponibilizam sinais com frequência de 60Hz. Através de (1) foi possível dimensionar os valores do resistor (R) e do capacitor (C) para o filtro utilizado.

$$fc = \frac{1}{2*\pi*R*C} \quad (1)$$

3.2 Placas de condicionamento de sinal

3.2.1 Corrente elétrica do motor

Para a leitura de corrente elétrica no motor submetido ao ensaio, optou-se por sensores de corrente alternada não invasivos. São sensores sensíveis a variações de campo magnético, que geram uma tensão de saída devido ao efeito Hall. Tem como principais vantagens o baixo custo, a confiabilidade e a facilidade de aplicação, e como desvantagem a dependência de temperatura (Balbinot; Brusamarello, 2014).

O modelo escolhido foi o SCT-013 do fabricante YHDC, que permite medir valores de corrente máxima de 30A, apresentando tensão de saída proporcional de 0 a 1V, com sensibilidade de ± 0,033V/A.

Para condicionamento do sinal foi montado um circuito que atendesse as condições de leitura do microcontrolador utilizado (tensão contínua na entrada analógica de 0 a 5V), já que a tensão de saída do sensor é do tipo alternada. Ao sinal do sensor foi adicionada uma tensão de offset de 2,5V, mantendo a variação da tensão 1,5V e 3,5V nas entradas analógicas do microcontrolador. Para garantir uma alta impedância entre a saída do sensor e entrada analógica do microcontrolador, foi utilizado um amplificador operacional modelo LM358 na configuração buffer de tensão conforme Fig. 4.

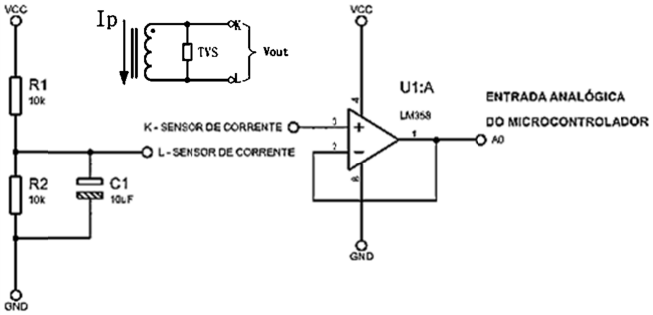

Fig. 4 Circuito para o condicionamento do sinal de corrente.

Os sensores foram instalados nos três condutores de alimentação do motor, com o objetivo de atender as recomendações da NBR 17094-3 de monitoramento da corrente nas três fases, e possibilitar o estudo independente das correntes de alimentação do motor.

3.2.2 Tensão elétrica entregue ao motor

A leitura do nível de tensão de alimentação no motor em ensaio é utilizada no cálculo de potências elétricas: ativa, reativa e aparente, disponibilizadas ao usuário. É realizado através de um circuito que utiliza três transformadores monofásicos 220/9V, com as bobinas primárias conectadas na configuração estrela. Através de um circuito divisor de tensão resistivo no secundário de um dos transformadores, é disponibilizada uma amostra de tensão proporcional ao valor do primário. Um circuito de condicionamento formado por uma tensão de offset de 2,5V e um amplificador operacional modelo LM358 na função de buffer de tensão torna o sinal compatível com a entrada analógica do microcontrolador. A Fig. 5 apresenta o circuito utilizado.

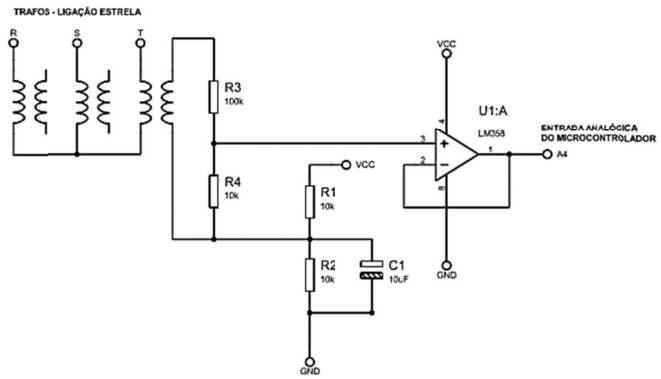

Fig. 5 Circuito para o condicionamento do sinal de tensão.

3.2.3 Leitura de rotação do motor

A leitura de rotação do motor em ensaio é realizada com a utilização de um sensor indutivo PNP, de 8mm de diâmetro, alimentação 24V e distância sensora nominal de 2mm. Este sensor detecta a proximidade de objetos metálicos produzindo um sinal de saída digital. Foi fixado a estrutura, detectando a passagem dos dentes de uma roda dentada solidária ao eixo do disco de alumínio.

Para disponibilizar o sinal de saída do sensor para o microcontrolador, foi desenvolvido um circuito de condicionamento com a utilização de um optoaclopador, modelo 4N25. Com este circuito, representado na Fig. 6, é possível adequar o sinal de saída do sensor para o nível de tensão adequado da entrada digital do microcontrolador, de 5V.

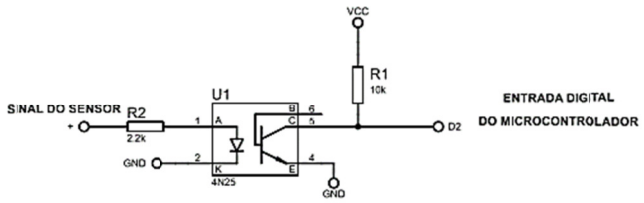

Fig. 6 Circuito para o condicionamento de sinal de rotação.

3.2.4 Temperatura interna do motor

A leitura de temperatura interna do motor é realizada através da instalação de uma termoresistência de platina Pt100 junto a uma de suas bobinas, sendo que "este tipo de sensor altera sua resistência ôhmica de acordo com a temperatura e é considerado um sensor de alta precisão e ótima repetitividade de leitura" (Balbinot; Brusamarello, 2014).

O modelo do Pt100 selecionado possui a configuração de dois fios e tem intervalo de medição de temperatura entre -20 ºC a 450 ºC. Optou-se por este modelo, e não por um de três fios, em função da pequena distância entre o quadro elétrico e a bancada.

Para condicionamento do sinal, utilizou-se um módulo conversor que mantém a corrente elétrica do sensor constante, permite a configuração do fundo de escala e gera uma saída de 0 a 5V na entrada analógica do microcontrolador. O módulo utilizado e o esquema de ligação podem ser observados na Fig. 7.

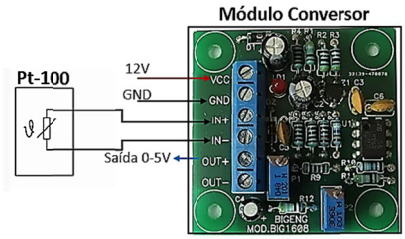

Fig. 7 Módulo de condicionamento para sensor Pt100.

3.2.5 Torque de frenagem

Para realizar a medição de torque desenvolvido pelo motor, foi utilizado o método de medição de força, através de uma célula de carga tipo single point resistiva. Seu princípio de funcionamento é baseado em extensômetros, que alteram sua resistência quando sofrem algum tipo de deformação provocados por uma força externa, gerando uma diferença de potencial entre seus terminais de saída. Neste projeto, a célula de carga utilizada possui a configuração ponte de Wheatstone, com sensibilidade de 2mV/V e capacidade de 15 kg com sobrecarga segura de 150%. Foi utilizado o modelo SPL do fabricante IWM.

Para adequar os sinais gerados pela célula de carga com o microcontrolador, foi utilizado um amplificador de sinal que fornece uma tensão constante de 10V para alimentação da célula e permite ajuste de ganho. Com um ajuste de ganho de 250, a tensão de saída apresenta um range de 0 a 5V. A instalação elétrica do módulo amplificador e da célula de carga pode ser observada na Fig. 8.

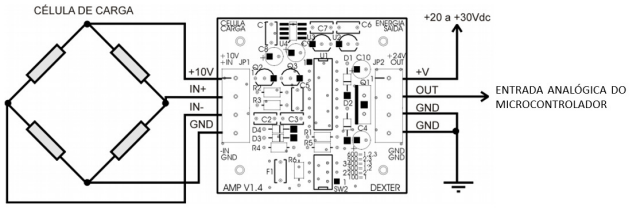

Fig. 8 Conexão da célula de carga e modulo amplificador. Fonte: adaptado de Dexter (2019).

3.3 Programação do controlador

Para a programação do microcontrolador Atmega328P, foi utilizado a plataforma de desenvolvimento IDE Arduino, que utiliza a linguagem de programação C++.

Inicialmente, o programa desenvolvido configura os pinos de entrada e saída do microcontrolador. Na sequência são adicionadas bibliotecas com funções pré-definidas e que simplificam o código principal. Foram desenvolvidas lógicas para controle e monitoração das variáveis de ensaio da bancada, e também lógicas de setup e fatores de correção. Entre outras funções, o software também é utilizado para controlar a interface com o display LCD fixado na parte frontal do quadro de controle.

Para a transferência dos dados para o sistema supervisório desenvolvido, utilizaram-se bibliotecas para o protocolo Modbus que permitem as configurações de comunicação.

Conforme Fig. 9, na primeira etapa do código é realizado a leitura de dados dos sensores, sendo atribuídos a uma variável. Na segunda etapa, se necessário, estes dados são corrigidos (em função da calibração realizada). Na etapa seguinte, faz-se a realização de operações matemáticas para adequar a indicação de parâmetros, conforme grandeza e unidade desejada. E por último, exibe-se o resultado do processamento no display e no sistema supervisório.

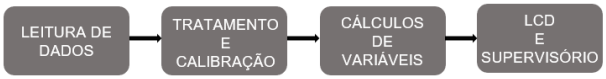

Fig. 9 Fluxograma de funções do software.

3.4 Sistema supervisório

Os supervisórios podem ser vistos como sistemas que monitoram processos, variáveis e ações tomadas pelo controle automatizado. "O software, conhecido como supervisório, permite a operação e visualização através de telas gráficas elaboradas para qualquer processo industrial ou comercial, independente do tamanho de sua planta" (Jurizato; Pereira, 2002).

O software ScadaBR é um sistema de código aberto, gratuito e possui sua aplicação em diferentes sistemas operacionais. Devido a estas características, foi definido como o software supervisório para a bancada.

Para que seja possível realizar o monitoramento dos dados adquiridos pela placa de controle, foi necessário fazer a conexão física entre o computador e a placa de controle. Optou-se por uma rede de comunicação serial RS485, protocolo Modbus. Um conversor USB-RS485 foi utilizado adequar os níveis de sinal entre a porta USB do computador e rede RS485.

Para configuração do sistema supervisório, seguiu-se as etapas:

a. Criação do data-source para recebimento de dados, configurado para o protocolo Modbus RTU. Além da configuração do protocolo de comunicação utilizado, foi necessário definir a comunicação da porta serial com os mesmos parâmetros da configuração gravada microcontrolador e na porta serial do computador;

b. Criação dos data-points para a leitura das variáveis desejadas. A configuração destes teve como parâmetros mais importantes, a definição da faixa de registro, o tipo de dado Modbus, o ID do escravo e o offset para associar o data-point criado com a variável de leitura desejada;

c. Construção da tela de supervisão com imagens ilustrativas, valores e gráficos para uma melhor compreensão e representação dos ensaios de acordo com os recursos disponíveis no software supervisório. A Fig. 10 apresenta a tela desenvolvida para o supervisório da bancada de ensaios de motores de indução trifásicos.

Fig. 10 Interface do sistema supervisório desenvolvido.

A parte (1) desta tela tem a função de representar a parte física da bancada de ensaio, e demonstrar em tempo real a leitura dos parâmetros: toque de frenagem, rotação e temperatura. A parte (2) apresenta os valores das correntes e tensão de alimentação do motor elétrico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o término da montagem da estrutura elétrica e mecânica da bancada, foi dado início as etapas de testes operacionais e calibração das grandezas mensuradas conforme metodologia adotada. Esta parte do trabalho descreve ajustes realizados e aborda os principais resultados. Para validação destes, utilizou-se de dados disponibilizados pelo fabricante dos motores e equipamentos de medição comerciais.

Os testes de validação metrológica foram realizados com motor em regime, acionado por chave de partida direta, utilizando motor com características indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características do motor utilizado para testes.

Parâmetros	Valor nominal
Fabricante	WEG
Tamanho da carcaça	63
Potência mecânica	0,25CV
Polos	IV (1710rpm)
Tensão de alimentação	220/380V
Corrente	1,14/0,66A
Conjugado	1,01Nm

4.1 Teste de validação operacional

Para verificação do funcionamento da máquina, iniciaram-se testes de blocos individuais e posteriormente realizou-se a integração de todo sistema. Durante os testes, foram efetuados ajustes no software principal e sistema supervisório para adequar o funcionamento da máquina.

4.2 Calibração dos sensores da bancada

4.2.1 Leitura de tensão de alimentação do motor

Utilizou-se o método de calibração indireta e tem como objetivo comparar a leitura de tensão elétrica indicada pelo sistema de medição da bancada com a leitura de tensão de um voltímetro digital da marca Fluke, modelo 77iv. A tensão medida pelo voltímetro foi de 216,5V e a Tabela 2 apresenta os resultados das medições realizadas pela bancada.

Tabela 2. Leitura para calibração da medição de tensão.

Medidas	Tensão (V)
1ª	216,0
2ª	216,2
3ª	217,0
4ª	216,4
5ª	216,0
6ª	217,2
7ª	217,1
8ª	216,4
9ª	216,9
10ª	216,1

Conforme resultados da Tabela 2, os testes apresentaram erros relativos na leitura de tensão de -0,32% em relação ao sistema de medição comercial utilizado como padrão.

4.2.2 Leituras de corrente elétrica do motor

Utilizou-se o método de calibração indireta e tem como objetivo comparar a leitura de corrente elétrica indicada pelo sistema de medição da bancada com a leitura de corrente de um amperímetro tipo alicate da marca Fluke, série 320.

Inicialmente foi realizada a leitura das três correntes de alimentação do motor, sendo que o amperímetro indicou 1,00A para a corrente I, 1,01A para a corrente II e 1,01A para a corrente III. Os resultados das indicações do sistema de medição da bancada podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3. Leituras para calibração da medição de corrente.

Medidas	Corrente I (A)	Corrente II (A)	Corrente III (A)
1ª	0,99	1,01	1,02
2ª	1,01	1,01	1,01
3ª	1,01	1,02	1,02
4ª	1,00	1,01	1,02
5ª	1,01	1,01	1,02
6ª	0,99	1,00	1,00
7ª	1,01	1,01	1,00
8ª	0,99	1,02	1,01
9ª	1,00	1,00	1,01
10ª	0,99	1,02	1,02

Conforme resultados da Tabela 3, os testes apresentaram erros relativos na corrente I de -1%, na corrente II de 0% e na corrente III de 1%, em relação ao sistema de medição comercial utilizado como padrão.

4.2.3 Leitura de rotação do motor

Utilizou-se o método de calibração indireta e tem como objetivo comparar a leitura de rotação indicada pelo sistema de medição da bancada com a leitura de um tacômetro ótico do fabricante Instrutherm, modelo ST-707. A indicação fornecida pelo tacômetro foi de 1696rpm e a Tabela 4 apresenta os resultados das medições realizadas pela bancada.

Tabela 4. Leitura para calibração da medição de rotação.

Medidas	Rotação (rpm)
1ª	1254
2ª	1264
3ª	1265
4ª	1262
5ª	1255
6ª	1255
7ª	1265
8ª	1266
9ª	1264
10ª	1256

Conforme resultados da Tabela 4, os testes apresentaram erros relativos na leitura de rotação de -26,06% em relação ao sistema de medição comercial utilizado como padrão. Assim, houve necessidade de corrigir a indicação do sistema de medição da bancada, sendo realizada através de ajustes no código do microcontrolador (fator de correção).

4.2.4 Leitura de temperatura

Para esta calibração, efetuou-se um ensaio seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 17094-3 para ensaio térmico, utilizando o método de determinação da elevação da temperatura dos enrolamentos. O método ocorre com medições da variação das resistências das bobinas antes e depois de um período de funcionamento do motor. O procedimento inicia com identificação da temperatura ambiente e as resistências ôhmicas iniciais das bobinas do motor, sendo utilizados os sistemas de medição: termômetro digital infravermelho da marca Icel, modelo TD-980 e ohmímetro digital da marca Fluke, modelo 77iv. Para o cálculo da temperatura final T2, aplicou-se (2).

$$\frac{T_2+k_c}{T_1+k_c}=\frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

Sendo:

$T2$ - temperatura do enrolamento no fim do ensaio;

$T1$ - temperatura do enrolamento no momento da medição da resistência R1, estando o motor frio e com a sua temperatura estabilizada;

$R2$ - resistência ôhmica do enrolamento ao fim do ensaio;

$R1$ - resistência ôhmica do enrolamento na temperatura $T1$;

kc - igual a 234,5 para cobre eletrolítico com 100% de condutividade.

Os parâmetros utilizados e o valor da temperatura final calculada podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores utilizados para calibração de temperatura.

Parâmetro	Bobina I
Resistencia inicial (Ω)	34,9
Resistencia final (Ω)	39,0
Temperatura inicial (°C)	21,0
Temperatura final (°C)	51,0

Comparando o resultando esperado para temperatura final de 51,0 °C e o valor indicado pelo sistema de medição da bancada de 45,5 °C, o erro relativo foi de -13,72%. Assim, houve necessidade de ajustar o sistema de medição da bancada, sendo realizada através de ajustes no código do microcontrolador (fator de correção).

4.2.5 Leitura de torque

Utilizou-se o método de calibração direta, tendo como padrão de referência uma massa de 0,250kg, que foi posicionada sob a célula de carga, conforme Fig. 10.

Através de (3) é possível calcular o torque T a ser indicado pelo sistema de medição da bancada.

$$T = F \,.\, d = m \,.\, a \,.\, d \tag{3}$$

Sendo:

F - força aplicada a célula de carga;

d - distância do ponto de aplicação de força na célula de carga em relação ao eixo do motor, de 0,17m;

m - valor da massa padrão utilizada;

a - valor da aceleração da gravidade.

O resultado esperado é de 0,41Nm, sendo que o sistema de medição da bancada indicou uma leitura de 0,42Nm, apresentado erro relativo de 2,43%. Assim, houve necessidade de ajustar o sistema de medição da bancada, sendo a correção feita através da alteração no código do microcontrolador (fator de correção).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou as etapas de projeto, construção e testes da instrumentação da bancada didática para ensaio de motores de indução trifásicos. Teve como base a pesquisa do estado da arte e tecnologias atuais, e as etapas que se seguiram foram necessárias para atingir os objetivos pré-estabelecidos.

O sistema de instrumentação (sensores, placas de condicionamento e aquisição de dados, placa de controle), demonstraram eficiência e estabilidade satisfatória para fins didáticos.

A opção de um software livre como sistema supervisório apresentou algumas limitações quanto a construção de gráficos de grandezas, mas atendeu grande parte das funcionalidades previstas.

Para o IFSC câmpus Criciúma, financiador deste projeto, tem-se como resultado uma bancada didática instrumentada de grande auxilio no estudo de funcionamento dos motores elétricos, atendendo os cursos de Técnico em Eletrotécnica, Técnico em Mecatrônica e Engenharia Mecatrônica, realizadas no Laboratório de Acionamentos Elétricos.

Segue-se como sugestões para futuros trabalhos: aprimoramento do sistema supervisório para uma melhor visualização gráfica das grandezas inerentes ao ensaio; possibilidade de leitura de novas grandezas pelo sistema de medição, como potência ativa, reativa e aparente do motor, fator de potência, rendimento mecânico, etc.; controle Proporcional Integral Derivativo (PID); comunicação em rede com conversor de frequência instalado no quadro elétrico; realizar comparativo de custo com bancadas comerciais com funcionalidades diferentes e possibilitar acesso das grandezas do sistema através de uma aplicação mobile.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho teve apoio do Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, através do edital 11/2020/PROPPI – Programa de Apoio a Apresentação de Trabalhos em Eventos Científicos no Formato Virtual.

REFERÊNCIAS

Amorim, M. J. (2006). *Desenvolvimento de bancada didático experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Araújo, R. G. C. (2015). *Desenvolvimento de um sistema de diagnóstico de falhas em motores elétricos de indução*. Universidade Nova, Lisboa.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). *NBR 17094-3. Máquinas elétricas girantes, Parte 3: Motores de indução trifásicos - métodos de ensaio*. Rio de Janeiro.

Balbinot, A.; Brusamarello, V. J. (2014). *Instrumentação e fundamentos de medidas*. 2ª ed. LTC, Rio de Janeiro.

Cavalcante, P. F.; Jesus, S. S. (2011). *Utilização de bancadas de ensaio para estudo do comportamento dinâmico de máquinas rotativas – vibrações mecânicas*. Holos, v. 3, p. 18.

Dexter. *Amplificador para Célula de Carga* – Versão 1.4. Disponível em: <http://www.dexter.ind.br/wa_files/Amplificador_manual.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

Ferreira, C. A. (2016). *Motor Elétrico Premium*. 1. ed. Eletrobras, Rio de Janeiro.

Jurizato, L. A.; Pereira, P. S. R. (2006). *Sistemas Supervisórios*. v. 7778, n. 1212, p. 105–114.

Uggioni, P. P. (2017). *Instrumentação, Controle e Supervisão de um Abrasômetro Tipo Roda de Borracha*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis.