Bancada Didática para Estudos de Proteção em Motores por Meio de Dispositivo Eletrônico Inteligente



Giovanni Faria[1]; Michel Fernandes Peres[1]; Osmar Moreira da Silva Neto[1]; Carlos Alexandre Gouvea da Silva[1]
[1] *UNIFACEAR – Centro Universitário*

RESUMO
O presente trabalho apresenta a elaboração de uma bancada didática que auxilie como uma ferramenta de ensino-aprendizagem para a disciplina de máquinas elétricas e acionamentos, onde se busca mitigar os impactos negativos da falta de aulas práticas realizadas pelos alunos nos laboratórios das universidades. O trabalho realça o quão importante é a realização das atividades práticas em conjunto com as aulas teóricas durante o período de graduação nos cursos de Engenharia Elétrica. Assim apresenta-se a necessidade do desenvolvimento de uma bancada que simule falhas detectáveis para a proteção de motores, permitindo alterar parâmetros, no qual o aluno consiga identificar os resultados dessas alterações a partir de uma interface interativa e comunicativa. As proteções dos motores são realizadas através de um Dispositivo Eletrônico Inteligente (IED) que são popularmente conhecidos como relés inteligentes. Desta forma, os futuros alunos que ingressarem na universidade poderão ter contato com ferramentas que simulem situações reais e que permitam os estudantes refletir sobre os diversos fenômenos ocorridos, auxiliando-o à uma formação plena sobre a operação de equipamentos e dispositivos elétricos.

Palavras chave: Bancada Didática, Ensino em Engenharia, Proteção de Motores Elétricos.

ABSTRACT
The present wording show the elaboration of teaching stand that function is how teaching tool for electrical machines and drivers class, where it is sought to mitigate the negative impact of the lack of practical classes carried out by the students in the laboratory of UNIFACEAR – Campus Araucaria. This wording highlights importance about execution of practical activities together with theoretical classes during University graduate of electrical Engineering, like this show how meanly goal the development an stand that do simulation engine failures for motors protection, allowing parameters, where the student can see the results of these changes in an interactive and communicative interface. The motors protections will be carried out through an Intelligent Electronic Device (IED) that is popularly known as intelligent relays. In this way, future students who'll enter the university they may have contact with tools that simulate real situations and allow students to reflect on the various phenomena that have occurred, assisting it to a full training on the operation of electrical equipment and devices.

Key Words: Didactic Bench, Engineering Teaching, Protection in Electric Motors.

1. INTRODUÇÃO

A busca por realocação profissional é um dos principais motivos que tem levado pessoas a ingressarem em Instituições de Ensino Superior (IES). De acordo com o Censo da Educação Superior de 2017 divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2017) houve neste ano, um crescimento de 8,1% de alunos ingressando em IESs, onde este valor corresponde um aumento de 3,2 milhões de alunos se comparado com o ano anterior.

Diante do atual cenário acadêmico, educadores e alunos deparam-se cada vez mais com diferentes formas de aprendizagem. De acordo com Fernandes (2011, p.02) há duas condições para que a aprendizagem ocorra: primeiro, o conteúdo a ser ensinado deve ser potencialmente revelador; e segundo o estudante precisa estar disposto a relacionar o material de maneira consistente e não aleatória. Além disso, o processo de aprendizagem deve ser capaz de passar por transformações, a fim de permitir que os alunos construam um ambiente de estudo colaborativo e maximizem as informações de aprendizagem (SILVA, SANTOS, PELACINI, 2018).

Os desafios da aprendizagem nas IESs são ainda maiores quando os cursos são voltados para o público predominantemente técnico e de exatas, como nos cursos de Engenharia. Desta forma, Bortolo e Linhares (2006, p.01) descrevem que o processo de aprendizagem em cursos de engenharia está relacionado aos recursos didáticos utilizados pelos educadores em aulas presenciais. Assim, é necessário que existam diferentes abordagens e processos didáticos para que o aluno de engenharia consiga assimilar mais adequadamente o conteúdo de cada disciplina.

A partir destas premissas, buscou-se no presente trabalho apresentar uma alternativa que facilite tanto para os docentes ministrarem suas aulas, como para os alunos conseguirem assimilar e compreender informações teóricas aprendidas em sala de aula com atividades práticas. Para isto, observou-se a necessidade do desenvolvimento de uma bancada didática voltada para as aulas de Máquinas Elétricas e Acionamentos do curso de Engenharia Elétrica da UNIFACEAR com a finalidade de demonstrar a aplicação de relés inteligentes na proteção de motores.

Além dessa seção introdutória, na Seção 2 é apresentado o desenvolvimento do projeto com a apresentação de conceitos teóricos importantes para o entendimento da solução implementada, seguido dos procedimentos, métodos e ferramentas adotadas para construção do protótipo. Na seção 3 são apresentados os resultados e testes realizados na bancada desenvolvida. Por fim, na seção 4 são indicados as conclusões finais e proposta de trabalhos futuros.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 MOTORES ELÉTRICOS E MODELOS

Os motores elétricos são definidos como dispositivos que fazem conversão eletromecânica de energia. Essa conversão eletromecânica é explicada de acordo com a concepção de Santos (2019, p.01) como sendo baseada nos princípios do eletromagnetismo em que condutores situados em um campo magnético e atravessados pela corrente elétrica, sofrem a ação de uma força chamada de torque. A FIGURA 1 ilustra os principais componentes de um motor elétrico de indução trifásico, onde sua construção é formada por uma parte estacionária, ou estator e outra parte girante, conectada ao eixo que acopla o motor a carga (HAMBLEY, 2009, p.420).

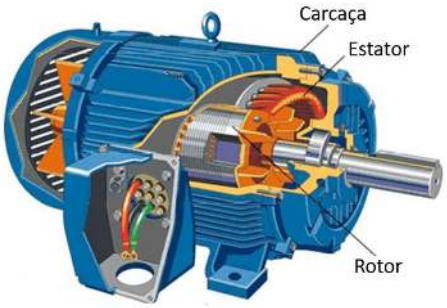


FIGURA 1: ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES TRIFÁSICOS
FONTE: ADAPTADO DE ELETROVAL (2019)

2.2 PROTEÇÃO DE MOTORES

Segundo a Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) a NBR número 5410 descreve que “todo o circuito deve ser protegido por dispositivos internos ao motor sensíveis à temperatura e também externos que interrompam a corrente, quando percorrido por uma corrente de curto-circuito.” Para a proteção correta de motores, são utilizados relés, na qual é definida segundo Mamede Filho e Mamede (2017, p.70) como: “[...] os relés consistem uma ampla gama de dispositivos que oferecem proteção aos sistemas elétricos nas mais diversas formas: sobrecarga, curto-circuito, sobretensão, sobtensão e outros.”

Atualmente há uma variada gama de modelos fabricados de relés, desta forma, Penariol e Paulino (2012, p.01) afirmam que “os dispositivos de proteção evoluíram dos eletromecânicos para a tecnologia digital multifuncional.” Assim, os relés são classificados como eletromecânicos, eletrônicos e relés digitais ou Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED - *Intelligent Electronic Devices*)

2.3 TÉCNICAS DE PROTEÇÃO DE MOTORES

Para proteções de falhas em motores, há uma tabela universal para consultas de todas as possíveis falhas existentes, chamada de tabela ANSI, onde o intuito de sua criação é de padronizar os códigos das funções de proteções, na qual hoje é referência mundial em proteções de motores elétricos. A descrição dos principais códigos de proteção são apresentados no QUADRO 1.

QUADRO 1: CÓDIGOS DE PROTEÇÃO PARA MOTORES

CÓDIGO	TIPO	DESCRIÇÃO
51GS	Proteção contra sobrecorrentes	De acordo com Caminha (1977, p.19) neste tipo de proteção "Os prefixos sobre e subcorrente ou tensão, significam que o relé atua para valores acima ou abaixo, respectivamente, daquele pré-determinado pelo fabricante."
49	Proteção através de detectores de temperatura	Proteção dos motores elétricos contra um anormal aquecimento dos enrolamentos, no qual é empregado um relé de imagem térmica que atua na medida exata da temperatura de saturação limite do motor (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2017, p.376).
27 e 59	Proteção contra sub e sobre tensão	Proteção que impede o religamento automático do motor quando a tensão do sistema retorna após uma interrupção. Neste caso, o relé de proteção intervém ao desarmar o disjuntor do motor, impossibilitando assim, a partida automática quando o sistema retornar ao funcionamento normal (BULGARELLI, 2006, p.38).
48	Proteção contra partida prolongada	Segundo Bulgarelli (2006, p.35) o relé de partidas prolongadas tem a função de proteger os motores contra longas partidas causadas por rotor bloqueado.
68	Proteção contra rotor bloqueado	De acordo com Gonçalez (2007, p.36) "A condição de rotor bloqueado impõe uma sobrecarga extrema no motor de indução. A elevada corrente de rotor bloqueado faz com que toda energia de entrada seja convertida em aquecimento do rotor e do estator".
37	Proteção por perdas de carga	Conforme Mamede Filho e Mamede (2017, p. 387) enquanto um motor elétrico está em funcionamento, pode-se ocorrer uma breve perda do conjugado devido ao desacoplamento da carga mecânica do motor, sendo necessário a proteção contra este tipo de falha.
46	Proteção contra desequilíbrio de corrente	Muitas das vezes, os motores trifásicos operam com apenas duas das fases quando o sistema de alimentação é submetido a falta de uma fase, nas quais são necessárias as devidas proteções.

FONTE: OS AUTORES (2019)

2.4 ENSINO E APRENDIZAGEM NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia do Ministério da Educação (BRASIL, 2002, p.01) o objetivo desses cursos é preparar profissionais capacitados que adquiram conhecimentos, habilitando-os a realizar suas competências e habilidades demandadas, tanto técnicas como comportamentais, para exercer de forma eficiente a profissão de Engenheiro. Segundo Silva *et al.* (2016) as deficiências oriundas da qualidade da educação básica brasileira refletem negativamente na formação dos Engenheiros. Assim, somente quando o aluno pratica o que ele visualizou e ouviu em sala de aula, ele realmente aprende.

2.5 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

Os materiais utilizados para a construção da bancada foram adquiridos pelos integrantes do projeto. As etapas que descrevem o desenvolvimento da bancada são apresentadas a seguir indicadas por tópicos.

- Elaborar e construir uma Bancada com material MDF (*Medium Density Fiberboard*) adaptada para o encaixe dos componentes;
- Conectar os dispositivos elétricos na bancada, verificando o funcionamento individual dos dispositivos;
- Desenvolver a programação do dispositivo eletrônico inteligente para que este faça o controle lógico da bancada;
- Desenvolver a programação do microcontrolador, permitindo que este reproduza a interação entre a bancada e o usuário do equipamento;
- Criar um sistema que atue como um freio mecânico do eixo do motor para ser realizado o teste na falha de sobrecorrente e sobretensão do motor.
- Criar um manual didático para que os estudantes tenham pleno conhecimento de como operar a bancada;
- Elaborar o diagrama multifilar da bancada com o objetivo de mostrar ao usuário como foi construída a bancada e que seja um meio fácil de que o mesmo possa realizar algum tipo de manutenção caso venha a ser necessário;
- Elaborar um diagrama de comando da bancada com imagens dos componentes que constituem a bancada;

2.5.1. Estrutura física da bancada

Para a montagem da bancada foi utilizada chapas de MDF, na qual seu dimensionamento está apresentado na FIGURA 2. Na bancada foram fixadas as

canaletas para a passagem dos cabos elétricos e os trilhos DIN (estrutura metálica na qual são fixados componentes elétricos nas instalações, recebendo esta nomenclatura devido ao padrão DIN (*Deutsches Institut für Normung e.V.*) que estabelece suas especificações e medidas), para fixar os componentes na bancada.

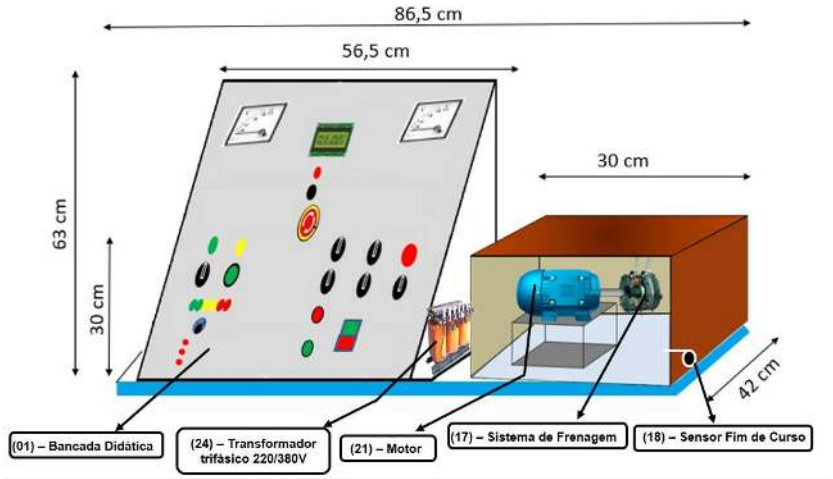


FIGURA 2 - VISTA COMPLETA DO PROJETO DA BANCADA DIDÁTICA
FONTE: AUTORES (2019)

A bancada didática foi desenvolvida em dois blocos, o primeiro bloco realiza a parte operacional através de comandos elétricos e o segundo bloco contém o motor com o sistema de frenagem magnética. A FIGURA 3 ilustra o painel central localizado na parte interna da bancada didática com a distribuição dos componentes eletrônicos.

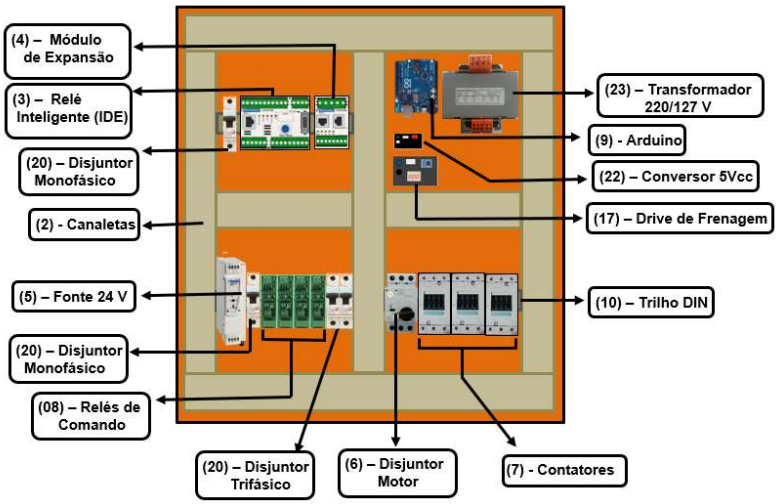


FIGURA 3 - PAINEL CENTRAL DA BANCADA DIDÁTICA
FONTE: AUTORES (2019)

A alimentação trifásica da rede é conectada aos transformadores de corrente (TC) e de potência (TP) do IED (relé inteligente) que, irá receber uma resposta do motor por meio do magnetismo gerado pela corrente elétrica do motor. Quando o motor estiver com alguma falha, o IED irá mandar um sinal para o microcontrolador Arduino, na qual fará o

controle dos componentes de operação do painel de comandos. Ainda, ao mesmo tempo que o relé detectou a falha e encaminhou para o Arduino, ele também faz o controle da proteção do motor.

2.5.2. Ligação componentes elétricos

A ligação dos componentes elétricos foi feita de acordo com os diagramas elétricos que serão apresentados nos resultados. Para fazer a ligação dos componentes elétricos foi utilizado um transformador de tensão de 220V para 127V no qual faz a ligação dos comandos dos circuitos. Para alimentação dos componentes eletrônicos foi usada uma fonte de alimentação 127Vca para 24Vcc. Os cabos utilizados nos diagramas multifilar e de comando foram dimensionados de acordo com a corrente de cada componente. Os cabos estão devidamente identificados conforme prevê a norma NBR 5410.

2.5.3 Programação do IED e do Arduino

A programação do relé inteligente (IED) foi desenvolvida no próprio software que acompanha o relé chamado Tesys T, onde foi utilizada a linguagem de diagrama de blocos. Nesta programação foram fixados valores que parametrizam o relé, onde para cada falha um valor é preestabelecido. Já a programação do Arduino foi feita utilizando a plataforma de programação do Arduino no qual foi utilizado a linguagem C para desenvolvimento do algoritmo.

2.5.4 Sistema de Frenagem

No desenvolvimento do sistema de frenagem foi utilizado um sistema de freio eletromagnético onde o funcionamento deste dispositivo não se aplicaria exatamente para este projeto, entretanto alguns cálculos foram realizados, onde chegou-se à conclusão que este sistema de frenagem corresponde a demanda necessária, reduzindo assim altos custos de freios eletromagnéticos mais apropriados. A FIGURA 4 apresenta o freio utilizado e acoplado ao motor. Este freio funciona por meio de interações eletromagnéticas, onde um potenciômetro conectado a um drive de controle, controla a tensão que flui para o freio. Quando o freio está com seu valor máximo de tensão, estas interações são menores e o freio não interfere no funcionamento do motor.



FIGURA 4 – SISTEMA DE FRENAGEM
FONTE: AUTORES (2019)

2.5.5 Projetos elétricos

Os projetos elétricos compõem uma parte do Prontuário de Instalação Elétrica (PIE) no qual é um acervo que contém todos documentos relativos nas instalações elétricas previstos na NR10. Assim, foram desenvolvidos três diagramas sendo eles o diagramam multifilar, diagrama de comandos e o diagrama lógico de identificação de entradas e saídas do IED. Todos os diagramas elétricos foram desenvolvidos pelo software AutoCad e serão apresentados nos resultados deste projeto.

2.6 DESENVOLVIMENTO DAS FALHAS

Conforme já mencionado, objetivo da bancada didática é realizar a simulação de falhas propositais para analisar de forma prática o comportamento do motor, enquanto que o relé inteligente faz a proteção deste. A bancada realiza oito diferentes falhas, sendo elas: sobretensão, subtensão, sobrecorrente, perca de fase, rotor bloqueado, partida prolongada, desbalanço de tensão e o desbalanço de corrente. A FIGURA 5, apresenta uma ilustração do painel de comandos da bancada didática, na qual é a interface comunicativa com o estudante.

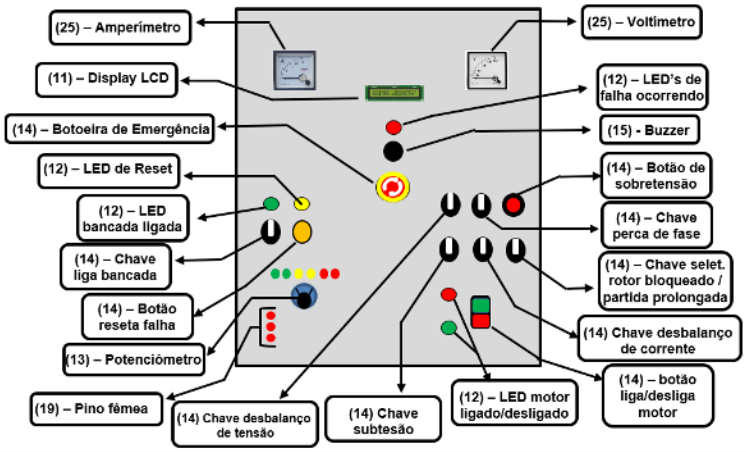
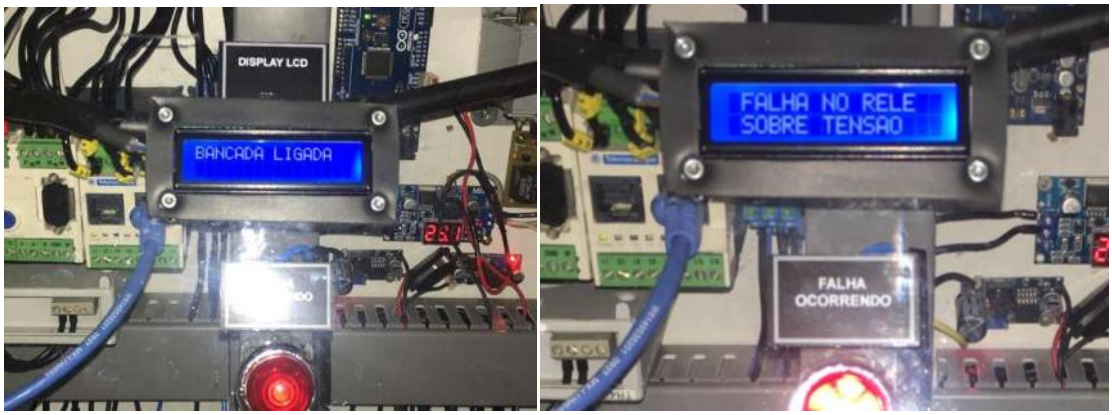


FIGURA 5 - PAINEL DE COMANDOS DA BANCADA DIDÁTICA
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.1 Falha de Sobretensão

Para realizar a falha de sobretensão foi feito a ligação de um transformador trifásico em um contator. Quando movimentado botão de sobretensão, a bobina deste contator é acionada permitindo ao transformador enviar 380V para o motor. A FIGURA 6(A) apresenta o estado do equipamento quando não há essa falha identificada. A FIGURA 6(B) apresentada no painel (*display*) da bancada que ocorreu a falha.

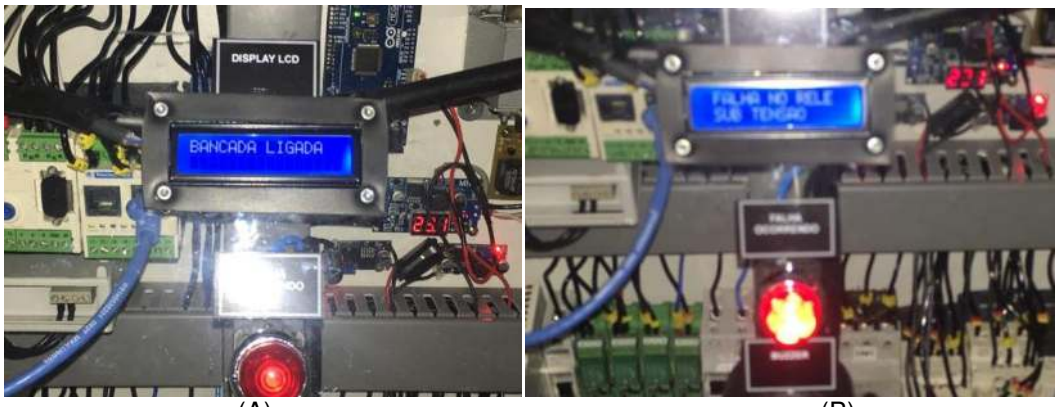


(A) (B)

FIGURA 6 – TESTE DE SOBRETENSÃO. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.2 Falha de Subtensão

Para simular esta falha, é necessário que as três fases de alimentação do motor sejam interrompidas abruptamente. Desta forma, foi feito a interligação dos relés de acionamento com os contatores de potência, de forma que quando a chave seletora de subtensão é acionada, a bobina dos três relés é alimentada, impossibilitando chegue tensão no motor. A FIGURA 7(A) apresenta o estado do equipamento quando não há falha identificada, enquanto que a FIGURA 7(B) mostra o comportamento da bancada após o IED identificar a falha.

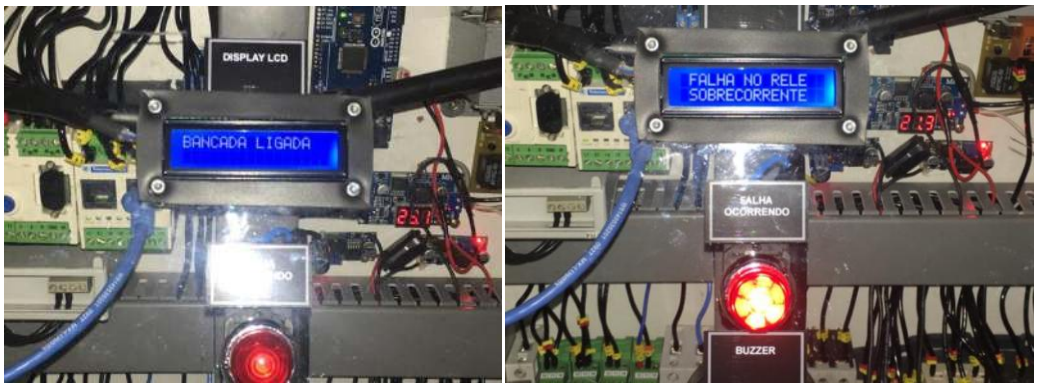


(A) (B)

FIGURA 7 – TESTE DE SUBTENSÃO. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.3 Falha de Sobrecorrente

Para simular a sobrecorrente foi conectado um sistema de frenagem no eixo do motor, assim quando o motor já estiver em operação e o potenciômetro 13 (FIGURA 5) for levemente girado até o ponto de ocorrer a sobrecorrente, irá diminuir a tensão elétrica no freio magnético, travando levemente o eixo do motor de forma que não fique completamente travado. A FIGURA 8(A) retrata a situação da bancada antes de ocorrer a falha e na FIGURA 8(B) quando o IED já identificou a falha de sobrecorrente e realizou a parada do sistema como programado nos critérios de proteção do motor, comunicando com o display.

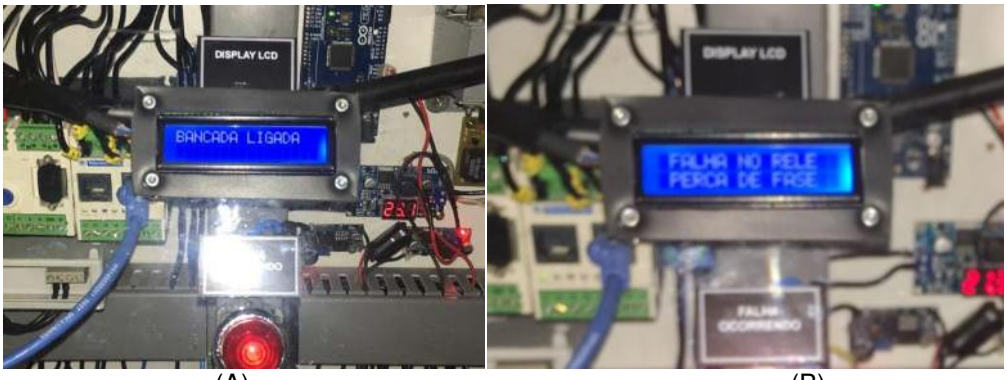


(A) (B)

FIGURA 8 – TESTE DE SOBRECORRENTE. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.4 Falha de Perca de Fase

Para a falha de perca de fase, movimenta-se a chave seletora de falta de fase acionando a bobina de dois relés de comando é alimentada, impossibilitando que as tensões das fases cheguem no motor. A FIGURA 9(A) apresenta o painel da bancada sem a ocorrência da falha. A FIGURA 9(B) apresenta a mensagem de falha por perca de fase no painel (*display*) da bancada.

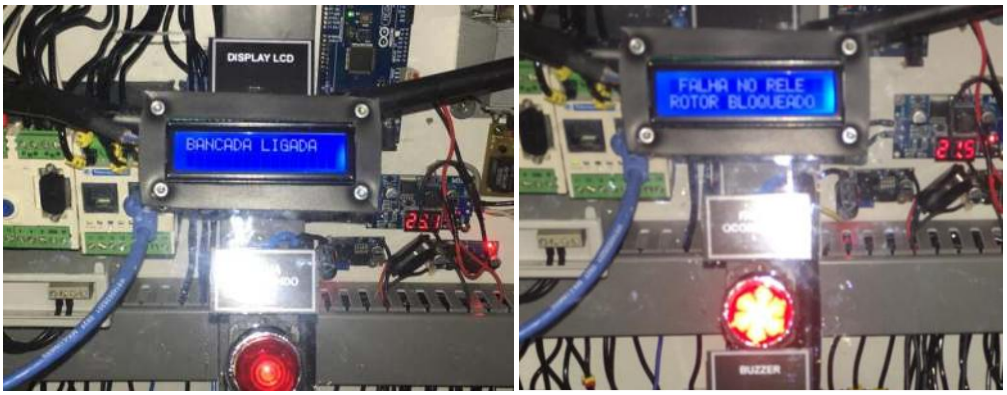


(A) (B)

FIGURA 9 – TESTE DE PERCA DE FASE. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.5 Falha de Rotor Bloqueado

Para simular esta falha, foi acionado o freio magnético através de uma chave seletora de rotor bloqueado, onde ao movimentar a chave 14 (FIGURA 5) para o lado direito, o eixo do motor será bloqueando completamente. A FIGURA 10(A) apresenta o estado do equipamento quando não há falha identificada. A FIGURA 10(B) mostra a mensagem no *display* da bancada, além de ascender os LEDs de sinalização, o alerta sonoro e a variação no amperímetro.

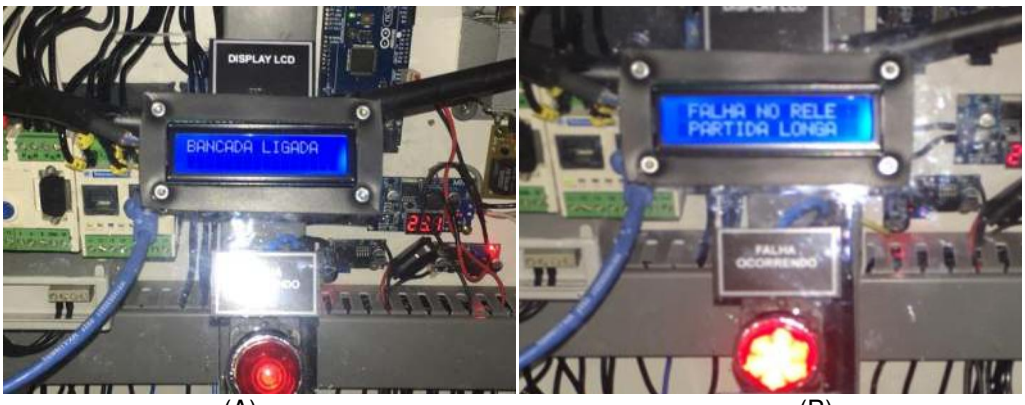


(A) (B)

FIGURA 10 – TESTE DE ROTOR BLOQUEADO. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.6 Falha de Partida Prolongada

A falha de partida prolongada ocorre quando o freio do motor está completamente acionado travando o eixo do motor, e é pressionado o comando de partir o motor. Para o bloqueio completo do motor, utiliza-se a mesma chave seletora que gera a falha de rotor bloqueado, entretanto, para a falha de partida prolongada a chave deve ser movimentada para o lado esquerdo. A FIGURA 11(A) apresenta o estado do equipamento quando não havia falha identificada e a A FIGURA 11(B) depois.



(A) (B)

FIGURA 11 – TESTE DE PARTIDA PROLONGADA. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.7 Falha de Desbalanço de tensão

Para a falha de desbalanço de tensão foi feito a interligação dos relés de acionamento com os contatores de potência, de forma que quando é acionado a chave seletora de desbalanço de tensão 14 (FIGURA 5), é alimentado a bobina de um relé, impossibilitando que a tensão desta fase chegue ao motor. A FIGURA 12(A) apresenta o painel da bancada antes da falha acontecer e a FIGURA 12(B) depois.

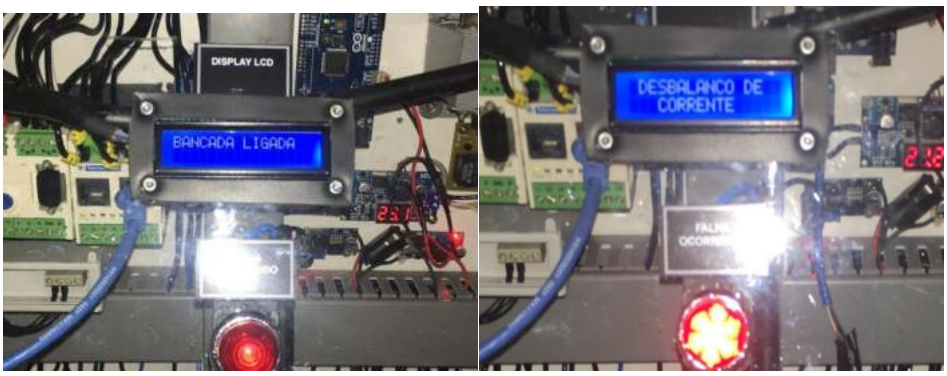


(A) (B)

FIGURA 12 – TESTE DE DESBALANÇO DE TENSÃO. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.6.8 Falha de Desbalanço de corrente

Para realizar esta falha foi interligados os relés de acionamento com os contatores de potência, de forma que quando é acionado a chave seletora de desbalanço de corrente 14 (FIGURA 5), é alimentado a bobina de um relé, impossibilitando que a tensão desta fase chegue ao motor. A FIGURA 13(A) apresenta o estado do equipamento quando este erro não havia sido identificado. A FIGURA 13(B) apresenta a mensagem apresentada no painel (*display*) da bancada que ocorreu a falha, além de ascender os LEDs de sinalização e o alerta sonoro.



(A) (B)

FIGURA 13 – TESTE DE DESBALANÇO DE CORRENTE. (A) ANTES E (B) DEPOIS
FONTE: AUTORES (2019)

2.7 RESULTADOS

O método empregado neste protótipo permite que a bancada didática seja facilmente instalada, sendo necessário apenas uma alimentação 220V trifásica. A bancada possui dimensões de 86,5 centímetros de largura, 63 centímetros de altura e 42 centímetros de profundidade, com a tampa frontal inclinada a 25º para uma melhor ergonomia do usuário. A FIGURA 14 mostra o protótipo montado.

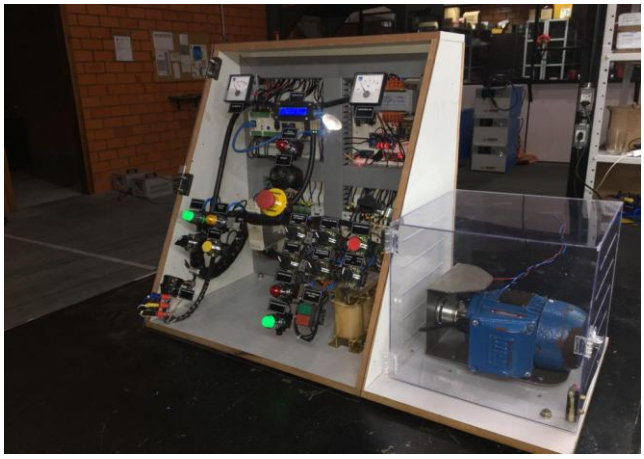


FIGURA 14 – BANCADA DIDÁTICA MONTADA
FONTE: AUTORES (2019)

Na TABELA 1 é apresentado os resultados dos testes da bancada didática relacionando a quantidade de vezes em que os testes funcionaram corretamente e a quantidade que não se obteve êxito nos testes. Para isto foram realizados a quantidade de 30 testes por falha.

TABELA 1 – RESULTADO DOS TESTES DA BANCADA

DESCRIÇÃO DA FALHA	QUANTIDADE DE TESTES FUNCIONANDO	QUANTIDADE DE TESTES NÃO FUNCIONANDO
Sobretensão	30 (100%)	0 (0%)
Subtensão	21 (70%)	9 (30%)
Sobrecorrente	30 (100%)	0 (0%)
Perca de fase	26 (86,6%)	4 (13,3%)
Rotor bloqueado	30 (100%)	0 (0%)
Partida prolongada	30 (100%)	0 (0%)
Desbalanço de tensão	30 (100%)	0 (0%)
Desbalanço de corrente	30 (100%)	0 (0%)

FONTE: AUTORES (2019)

Conforme observado na TABELA 5, para as falhas de subtensão e perca de fase foram obtidos êxito parcial na simulação das falhas. Isto se deve ao fato de que há grande semelhança entre os dois tipos de falha, onde em certos momentos a IED interpretou que ocorre a subtensão e outras vezes identificou que a falha ocorrida era perca de fase. Desta forma, os resultados obtidos de uma perspectiva geral do protótipo foram de 95% para a funcionalidade das falhas.

3. CONCLUSÃO

No ambiente acadêmico, alunos e professores se submetem a diferentes formas de aprendizagem, onde buscam os mesmos objetivos, que são de adquirir conhecimento. A atividade prática como ferramenta é fundamental para despertar a curiosidade e interesse nos estudantes, na qual permite a descoberta de novas habilidades e competências. Considerando estes aspectos, entende-se que, o uso da bancada didática auxiliará no processo de aprendizagem, permitindo que o aluno em formação se familiarize com os reais problemas existentes na indústria e saiba a melhor maneira de agir quando se depararem com estes problemas em suas futuras profissões.

Pela observação dos aspectos analisados, conclui-se que é possível visualizar a realização de todos os objetivos estabelecidos no início do projeto onde foi obtido êxito nos resultados do projeto. Após uma pesquisa de preço dos materiais utilizados estima-se que o custo total do projeto seja de aproximadamente R$ 5.000,00 (cinco mil reais), no qual todo o valor foi custeado pelos integrantes da equipe, podendo haver negociação com a instituição de ensino Unifacear caso exista interesse no projeto. Esta bancada didática apresenta custos superiores a outros projetos semelhantes apresentados no trabalho pois contém componentes de proteções com alta tecnologia, podendo ser aplicados tanto em ramos de ensino como também para áreas industriais

Como fundamento no desenvolvimento deste estudo, existem possibilidades de implementação de outras melhorias, tais como: comunicação via protocolo de rede com sistema supervisório e a instalação de um inversor de frequência.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2004.

BORTOLO, Karla Fernanda; LINHARES, J. C. Verificação da necessidade de dispositivos didáticos para o ensino na graduação em engenharia mecânica. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA**. 2006. p. 1128-1139.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNE/CSE 11, de 11 de março de 2002. Define as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p. 32.

BULGARELLI, R. **Proteção térmica de motores de indução trifásico industriais.** 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

CAMINHA, A. C. Introdução à proteção dos sistemas elétricos.1977.

ELETROVAL. Valinhos-SP, 2019. Disponível em <http://www.shorturl.at/fhptD>. Acesso em 25 de maio de 2019.

FERNANDES, Elisângela. **David Ausubel e a aprendizagem significativa**. Revista Nova Escola, 2011.

GONÇALEZ, F. G. **Estudo do motor de indução trifásico e desenvolvimento de um dispositivo de proteção efetiva de motores operando em condições anormais: rotor bloqueado e falta de fase.** 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

HAMBLEY, A. R. **Engenharia elétrica: princípios e aplicações**. 4.ed – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

INEP - INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS. **Censo da educação superior – Notas estatísticas 2017**. Disponível em: <http://www.shorturl.at/bsNW9>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

MAMEDE FILHO, J; MAMEDE, D. R. **Proteção de sistemas elétricos de potência W.A.** 1ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PENARIOL, G. S.; PAULINO, M. E. C. A Evolução de Sistemas de Proteção e Modelos para Testes de Relés de Proteção. In **IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, Goiânia-GO, 2012.

SANTOS, M. A. S. "Eletricidade: Acionamento de Motores Elétricos"; *Brasil Escola*. Disponível em <https://www.shorturl.at/uKWX2>. Acesso em 02 de maio de 2019.

SILVA, C. A. G.; SANTOS, E. L.; PELACINI, D. A. F. Evaluation of Academic Experience in Learning Education over Simulators Softwares. **International Journal on Alive Engineering Education**, v. 5, n. 2, p. 23-40, 2018.

SILVA, C. A. G. *et al.* Análise da influência da formação de Ensino Médio no desempenho acadêmico de estudantes de Engenharia. **International Journal on Alive Engineering Education**, v. 3, n. 2, p. 65-78, 2016.