

RETROFIT DE BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDOS DE ACIONAMENTOS DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Carlos Henrique Messias da Silva
Graduando em Automação Industrial
E-mail: carlos.silva338@fatec.sp.gov.br

Eric Marques Fernandes
Graduando em Automação Industrial
E-mail: eric.fernandes@fatec.sp.gov.br

Marco Antônio Dias
Graduando em Automação Industrial
E-mail: marco.dias4@fatec.sp.gov.br

José Rodrigo de Oliveira
Engenheiro Eletricista. Mestre em Engenharia Elétrica – Automação.
Docente na Fatec Bauru
E-mail: jose.oliveira45@fatec.sp.gov.br

Tiago Aparecido Vicentin
Tecnólogo em eletrônica. Docente na Fatec Bauru
E-mail: tiago.vicentin@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Nos dias atuais, a eficiência energética na indústria é de grande relevância, haja vista que a economia de energia elétrica no uso dos motores de indução trifásicos, garante mais sustentabilidade nas linhas de produção. Em alguns casos, dependendo do regime de trabalho e dos parâmetros usados nos motores, eles podem ter um aproveitamento da energia elétrica melhor ou pior. Na concepção de projeto, o emprego dos motores nos permite mudar esses parâmetros e fazer testes para encontrar o melhor regime de trabalho, assim, fazer estudos com os mais diversos dispositivos eletrônicos, como o inversor de frequência e o Controlador Lógico Programável, que possibilitam o emprego dos motores no adequado regime de trabalho. Deste modo, o objetivo deste trabalho visa à construção de uma bancada didática e testes em um motor trifásico utilizando como elementos de partida, o inversor de frequência ou a partida direta. A coleta de dados é feita com auxílio de um multímetro. Os testes resultam em gráficos que nos permitem ver o processo de funcionamento do motor trifásico atuando com e sem o inversor de frequência, além de nos permitir ver dados de frequência, corrente, voltagem e analisar o funcionamento do motor que nos mostra que em alta tensão a corrente diminui com o aumento da frequência e também a partida do motor se torna muito mais eficiente e suave com a utilização do inversor.

Palavras-chave: eficiência energética; acionamentos elétricos eficientes; motor indução trifásico; inversor de frequência.

ABSTRACT

Nowadays, energy efficiency in industry is of great importance, given that the savings in electricity in the use of three-phase induction motors ensures more sustainability in production lines. In some cases, depending on the work regime and the parameters used in the motors, they may have a better or worse use of electrical energy. In the project design, the use of motors allows us to change these parameters and carry out tests to find the best working regime, thus carrying out studies with the most diverse electronic devices, such as the frequency inverter and the Programmable Logic Controller, which enable the use of engines in the proper work regime. Thus, the aim of this work is to build a didactic bench and test a three-phase motor using the frequency inverter or the direct starter as starting elements. Data collection is done with the aid of a dynamometer and a multimeter. The tests result in graphs that allow us to see the operation process of the three-phase motor acting with and without the frequency inverter, in addition to allowing us to see frequency, current and voltage data and analyze the operation of the motor that shows us that in high voltage the current decreases with increasing frequency and also motor starting becomes much more efficient and smoother with the use of the inverter.

Keywords: energy efficiency; efficient electric drives; three-phase induction motor; frequency inverter.

1 INTRODUÇÃO

A indústria teve um grande progresso nesses dois últimos séculos. Podemos citar a segunda revolução industrial, onde houve predominância da eletricidade, principalmente nas máquinas elétricas e, posteriormente, com o avanço da eletrônica, podemos ver o incremento da industrial 4.0 e também, mais recentemente, da industrial 5.0. Isso fez o consumo de energia elétrica aumentar significativamente. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE- atualmente o consumo de energia elétrica cresce quase 4,0% ao ano nas indústrias e 35% do consumo final de energia e quase 40% da energia elétrica consumida. É de se saber que, uma das características de uma indústria é o seu fim econômico, sempre visando lucro em suas atividades. Além disso, devemos levar em consideração a sustentabilidade, que possui três eixos: social, econômico e ambiental, nesse processo é muito importante economizar recursos e proteger o meio ambiente, principalmente quando se trata de economia de energia.

Apesar dos equipamentos terem boa eficiência com relação ao consumo de energia, é possível identificar desperdícios dentro das indústrias, principalmente entre os motores de indução que pode ser explicado por diferentes fatores como: mau dimensionamento, não utilização de acionamento eletrônico, excesso de rebobinagens, falta de manutenção. Dentro deste contexto, estudos que envolvem economia de energia elétrica em motores de indução são muito valorizados, tanto para gerar lucro, tanto para a proteção do meio ambiente.

Desta forma, com o objetivo de construir uma bancada didática tomando como base um equipamento em desuso com o método de *retrofit*, melhorar e modernizar o equipamento para que possa ser feito testes utilizando inversor de frequência PWM para variar a velocidade de um motor trifásico com carga variável e realizar estudos para parametrizar este equipamento de acordo com a função que está sendo executada na plataforma e, com um projeto de implementação prática com intuito didático nas disciplinas de máquinas elétricas e automação industrial.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Eficiência energética

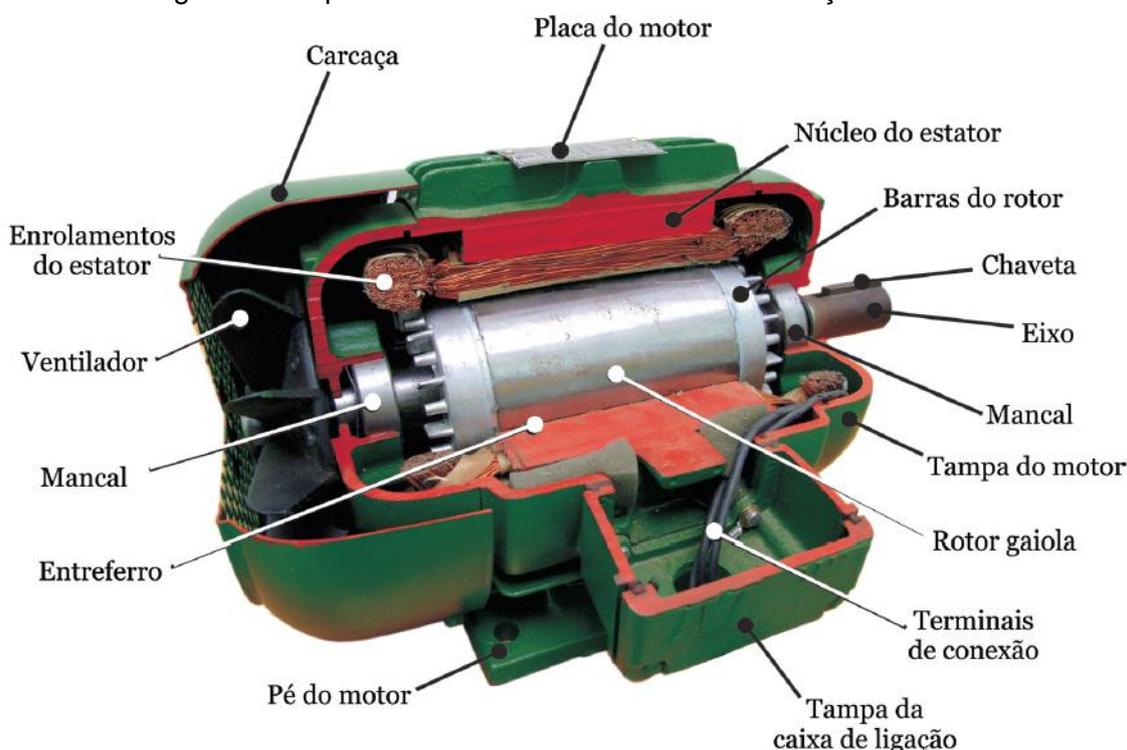
A energia elétrica que utilizamos em nossas residências, comércio e nas indústrias aqui em nosso país, grande parte vem das usinas hidrelétricas, porém essa energia é gerada também por usinas eólicas, solares, termoelétricas, nucleares etc. O setor industrial brasileiro consome cerca de 35% da energia elétrica do país e dois terços dessa energia são utilizados por sistemas motrizes. O elevado consumo apresentado por esses sistemas torna a força motriz o principal alvo de atuação dos programas de eficiência energética voltados para o seguimento industrial. O motor de indução trifásico *standard* é o mais utilizado pelas indústrias, pois é robusto, de alta confiabilidade, reage bem a variações de carga e tem baixo custo. Por ser muito utilizado pelas indústrias, calcula-se que esses motores consumam 25% de toda a energia produzida no Brasil (ELETROBRÁS, 2007).

2.2 Motores elétricos

Motores elétricos são máquinas ou dispositivos que transformam energia elétrica em energia mecânica. Os motores elétricos mais utilizados na indústria são os motores trifásicos de indução. Neste tipo de motor pode ser encontrado o estator, responsável por conduzir o campo eletromagnético, e o rotor que, ao interagir com o campo magnético, gira em torno de seu próprio eixo. Esses dois componentes compartilham um mesmo eixo onde é colocado o enrolamento de condutores que fazem parte de três circuitos simétricos do sistema trifásico e desta maneira se obtém energia elétrica que será transformada em energia mecânica (PETRUZELLA, 2013).

A figura 1 apresenta o motor de indução trifásico e seus componentes.

Figura 1 – Aspecto construtivo dos motores de indução trifásicos



Fonte: Viana *et al.* (2012).

2.3 Inversor de frequência

O inversor de frequência é nomeado assim porque ele controla o giro do motor trifásico variando a frequência da rede que alimenta o motor. Logo, esse dispositivo eletrônico é capaz de variar a velocidade de giro de um motor de indução trifásico transformando corrente alternada fixa em corrente alternada variável, diminuindo ou aumentando a potência consumida pela carga através da frequência que chega até o motor, no caso da indústria, essa é a frequência da rede. Desta forma, o inversor de frequência pode controlar facilmente a velocidade de rotação do motor (MATTEDE, 2022).

O uso desse equipamento proporciona uma série de vantagens. Seu uso pode proporcionar maior flexibilidade de velocidade de giro com mais

segurança e precisão. Com isso, é possível, por exemplo, controlar a velocidade do motor e a frenagem direta sem a necessidade de freios mecânicos, além de diversas formas de programação que podem ser feitas de acordo com a necessidade da indústria. Além disso, é possível fazer a substituição de variadores mecânicos e eletromagnéticos, melhorar a automação, segurança e flexibilidade em processos industriais, evitar choques mecânicos na partida do motor, diminuir intervenção humana, aumentar a precisão de movimentos, economizar energia, melhorar o custo benefício e tudo feito com instalações simples e práticas (MATTEDE, 2022).

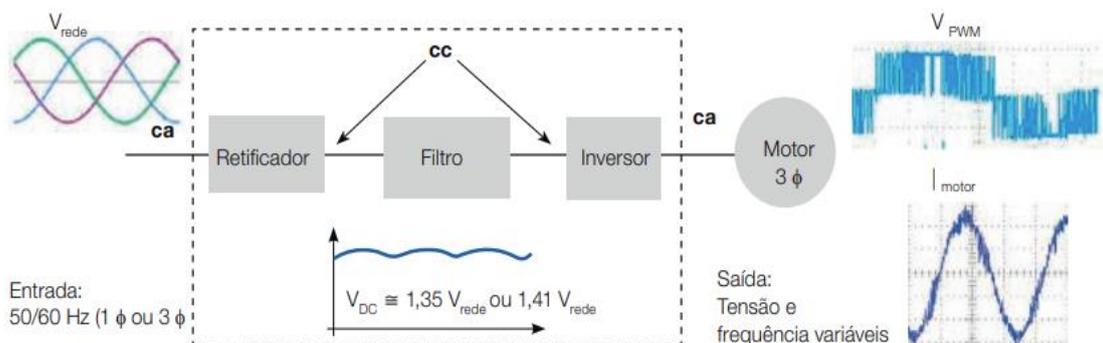
Ao implementar o inversor de frequência no processo de automação, quando o sinal chega até ele, este sinal é convertido em corrente contínua por meio de uma ponte retificadora de onda completa, neste processo é utilizado dois diodos conectados a cada fase. São eles os responsáveis pela retificação (CAPELLI, 2013).

Depois da retificação ocorre o barramento de corrente contínua, nesta fase do processo, existem capacitores de filtro em paralelo e uma indutância em série, que filtram o sinal pulsante. Este sinal pulsante se torna contínuo e ondulação passa a ser pequena. Este tipo de automação envolvendo inversor de frequência é aplicado nos mais diversos tipos de motores trifásicos dentro da indústria. Como por exemplo, motores de esteiras transportadoras, rotuladoras, bobinadeiras, ventiladores e muitos outros (CAPELLI, 2013).

O inversor do tipo *Pulse Width Modulation* conhecido comercialmente pela sigla *PWM* é um tipo de inversor de frequência que recebe esse nome por trabalhar com rápidos pulsos de sinais digitais no condutor elétrico. Esses pulsos também podem ser usados para simular uma tensão estática variável. Além disso, essa técnica pode ser usada em vários tipos de equipamentos além dos motores elétricos, como por exemplo, *LEDs* ou luzes em diferentes intensidades, aquecedores entre outros. Este processo é muito útil para equipamentos que precisam variar sua intensidade de trabalho, onde apenas “ligar” ou “desligar” não é suficiente para executar o projeto. No caso de motores elétricos, em alguns casos, há a necessidade de se variar a sua velocidade. Neste tipo de operação, o inversor *PWM* se encaixa muito bem no processo (SILVEIRA, 2016).

A figura 3 apresenta o diagrama das etapas do processo de obtenção da tensão e frequência desejadas no inversor de frequência.

Figura 3 – Diagrama das etapas do processo de obtenção da tensão e frequência desejadas no inversor de frequência



Fonte: MOTORES de indução alimentados por inversores de frequência PWM (2016).

2.4 Controlador lógico programável

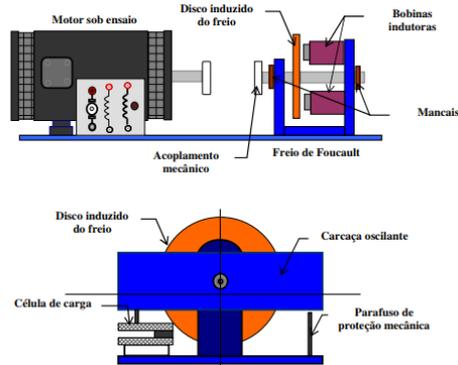
O Controlador Lógico Programável – CLP é um dispositivo eletrônico que desempenha funções de controle e monitoramento muito utilizado na indústria, onde, segundo a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) aplica-se a CLP e seus periféricos associados como ferramentas de programação, depuração e interfaces homem-máquina, que tenham como finalidade o controle e comando de máquinas e processos industriais.

2.5 Freios de foucault

Freios de Foucault, ou Freio Eletromagnético, têm como seu principal objetivo de funcionamento a criação de correntes parasitas de Foucault, essas correntes são criadas através de bobinas eletromagnéticas de um disco metálico girante criando-se um campo magnético constante, provocando a indução das correntes parasitas de Foucault (REIS; SILVA, 2015).

Em diversas aplicações, são necessárias velocidades intermediárias nos acionamentos industriais, seja para ajuste de posições, seja para aceleração/desaceleração suaves. Os freios dinâmicos, também conhecidos como freios de Foucault, acoplados diretamente a motores com rotor bobinado, reduzem a velocidade quase que independentemente da carga. Os freios de Foucault são construídos para aplicações severas. Para tanto, a qualidade é assegurada, desde a seleção dos materiais e dos processos de produção empregados na fabricação de seus componentes até a montagem final. Simulações de funcionamento são realizadas em bancada de testes. Relatórios individuais são emitidos permitindo a rastreabilidade dos freios e de seus componentes mais críticos. Por não se tratar de freio mecânico envolvendo atrito entre componentes, com conseqüente desgaste dos mesmos, os freios dinâmicos possuem vida útil prolongada e praticamente dispensam manutenção. Os freios de Foucault são utilizados em pontes rolantes, pórticos e semipórticos, transportadores de correias, máquinas de pátio, guindastes portuários, guinchos de mina. O disco metálico mostrado na Figura 15 tem a liberdade de girar livremente mesmo na ausência de corrente circulando nas bobinas dos eletroímãs. Ao começar a circular corrente nas bobinas destes eletroímãs, o disco é freado, pois cria um campo magnético que atravessa o disco induzido às forças de Lorentz (REIS; KLAIBER; VISCONTI, 2015). A figura 15 mostra o esquema de um motor de indução trifásico com freio de Foucault.

Figura 15. Motor de Indução trifásico com freio de Foucault



Fonte: Reis e Silva (2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

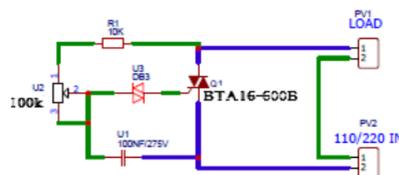
Para desenvolvimento desse trabalho, visando à modernização de bancada didática existente, com o intuito de torná-la uma referência no estudo de acionamentos elétricos eficientes, foi dividido em três etapas;

- Adaptação do modelo didático da bancada existente;
- A introdução de circuitos de comando e de potência para acionamento do motor.

3.1 Adaptações do modelo didático

À princípio foi testado um circuito eletrônico do tipo *dimmer* para variar a tensão nos freios assim como mostrado na figura 16.

Figura 16: circuito eletrônico de ajuste de tensão



Fonte: autoria própria

Porém o circuito se demonstrou ineficaz dentro do projeto e, por esse motivo, foi colocado para ajuste de potência das bobinas do dinamômetro um regulador de tensão (variac) Varikeld para variar a tensão de 1,5 a 43 volts, o mesmo que era usado anteriormente antes do início do projeto. Vide figura 4.

Figura 4: regulador de tensão



Fonte: autoria própria

O motor trifásico foi alterado para um motor menor, onde foi necessário ajustes para que o acoplamento do motor fosse feito de forma adequada, assim foram tiradas medidas do mancal do dinamômetro e uma peça adicional foi desenhada e construída para adaptar a entrada do motor.

O motor utilizado foi um motor WEG trifásico modelo 71. A imagem e descrição do motor podem ser vistas, respectivamente, nas figuras a seguir.

Figura 5: Motor WEG



Fonte: WEG

Figura 6: Especificações técnicas motor WEG

Norma	ABNT NBR 17094	Potência	0.5 cv
Frequência	60 Hz	Fixação	Com pés
Tensão	220/380 V	Flange	Sem
Número de polos	4	Forma construtiva	B3D
Grau de proteção	IP55	Caixa de ligação ¹	Posição esquerda
Rotação síncrona	1800 rpm	Refrigeração	IC411 - TFVE

Fonte: WEG

Além disso, também foi trocado o circuito de retificação da corrente antes das bobinas do dinamômetro que anteriormente possuía diodos expostos em ponte H por um circuito sem os diodos totalmente expostos.

3.2 Circuito de comando

No circuito de comando foi utilizado um controlador lógico programável – CLP- Allen Bradley 1760-L12AWA, viabilizando a instalação do circuito de comando visando dentre suas características a economia de cabos e facilidade de instalação, onde os componentes de acionamentos e de controle são conectados em suas respectivas entradas e saídas, conforme a lógica empregada.

A figura 7 e 8 apresentam o modelo de CLP assim como suas especificações.

Figura 7– Controlador lógico programável



Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Especificações técnicas CLP

Manufacturer	Rockwell Automation	No. of Outputs	Four (4) Relay
Brand	Allen-Bradley	Output Operating Voltage	250 VAC
Part Number/Catalog No.	1760-L12AWA	UPC	10611320266655
Description	Pico Controller	Analog	None
Inputs	(8) Digital	UPC	10611320266662
Line Power	100 to 240V ac +10/-15%	Local Display	Included
Output	(4) Relay	Product Lifecycle Status*	Discontinued/Obsolete
No. of Inputs	Eight (8) Digital	Communication Cable	1760-CBL-PM02
Input Signal	120-240V AC	Dimensions	71.5 mm (2.82 in.) x 90 mm (3.55 in.) x 56.5 mm (2.08 in.)
Input Operating Voltage	(100 to 240V ac)	Weight	200g (7 oz.)
Feature	Real Time Clock		

Fonte: Rockwell Automation

Foram colocados dois botões (liga e desliga) para acionar ou desligar o motor utilizando partida direta, respectivamente, na entrada I5 e I6 do CLP e, da mesma maneira, foi usado dois botões para utilização do inversor de frequência ligados nas entradas I7 e I8 do CLP. Além disso, temos a entrada I1 com botão *reset*, entrada I2 com um botões de emergência ligados na entrada I4 com o inversor de frequência. Vide figura 9 e 10.

Figura 9: inversor de frequência



Fonte: Schneider

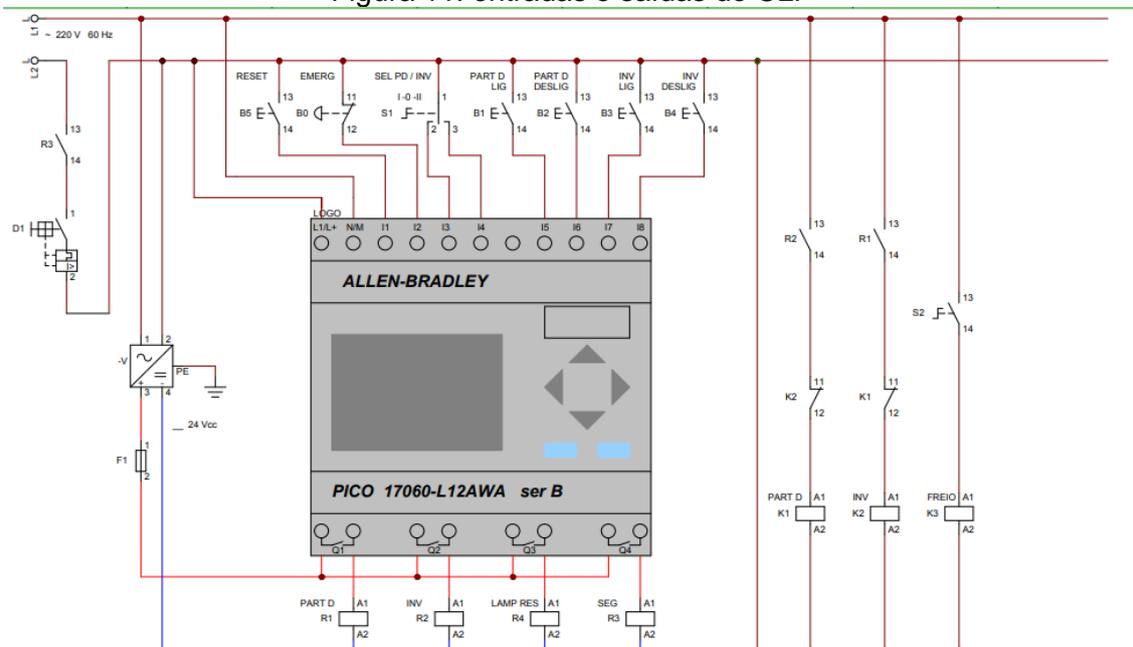
Figura 10: especificações principais

Linha de produto	Altivar 12
Tipo de produto ou componente	Propulsor de velocidade variável
Aplicação específica do produto	Máquina simples
Modo de montagem	Montagem em armário
Protocolo da porta de comunicação	Modbus
Frequência de alimentação	50/60 Hz +/- 5 %
Tensão nominal de fornecimento [Us]	200...240 V - 15...10 %
Corrente de saída nominal	1,4 A
Alimentação do motor cv	0,25 hp
Alimentação do motor kW	0,18 kW
	0,25 hp
Filtro EMC	Integrado
Grau de protecção IP	IP20

Fonte: Schneider

Com relação às saídas do CLP, temos Q1 Q2 Q3 e Q4 que estão conectadas respectivamente às bobinas dos relés 1, 2, 4 e 3. Os relés são responsáveis pelo acionamento dos contatores K1, K2, K4 e K3. O esquema do circuito de comando pode ser visto pela figura 11.

Figura 11: entradas e saídas do CLP

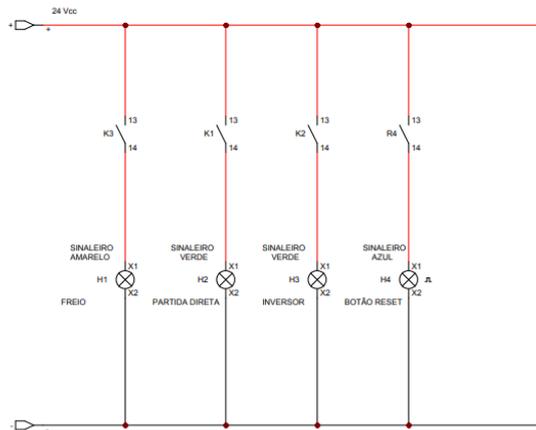


Fonte: autoria própria

As botoeiras foram colocados em um painel de controle que possui 4 LEDs de sinalização. Dois dos LEDs são verdes, indicando o tipo de partida, sendo partida direta ou inversor de frequência, um é amarelo que indica

acionamento das bobinas do dinamômetro e por último, um LED vermelho que indica painel energizado.

Figura 12: circuito LED's

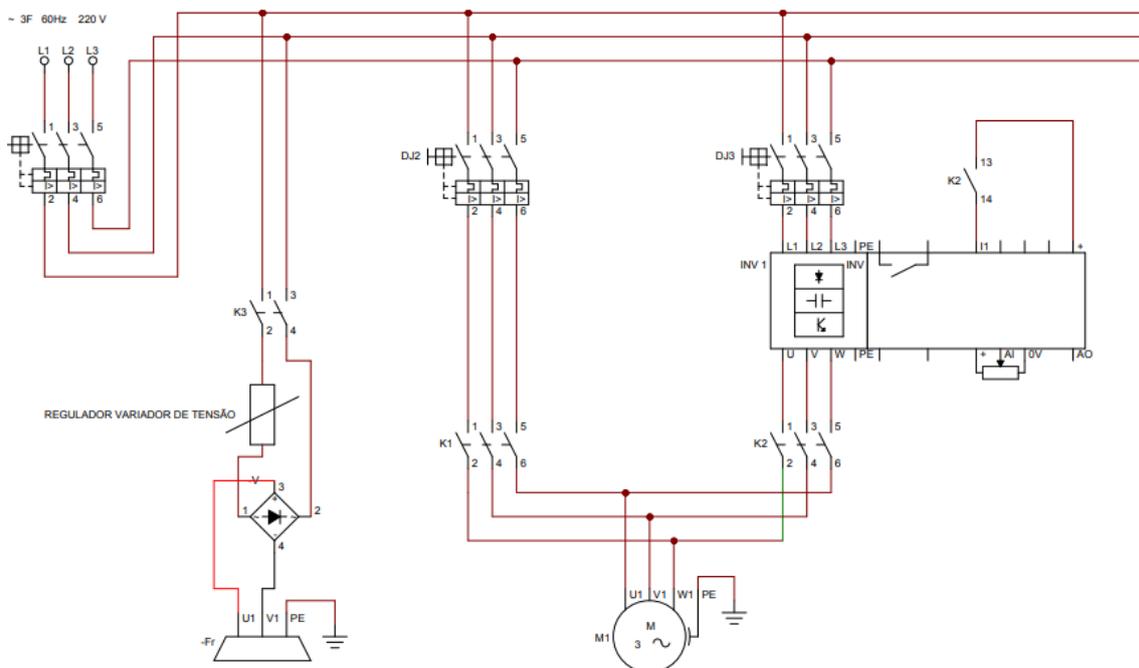


Fonte: autoria própria

3.3 Circuito de potência

O circuito é alimentado com tensão de 220V. O motor trifásico pode ser acionado pelo contator K1 com partida direta ou pelo contator K2 com auxílio do inversor de frequência. Por uma questão de segurança, os contatores possuem intertravamento para que não haja acionamento de ambos ao mesmo tempo. Para a proteção do circuito foi adicionado um disjuntor geral tripolar de 10 amperes, um disjuntor unipolar de 10 amperes, dois disjuntores motor siemens de 7 á 10 amperes, dois bornes fusíveis de vidro de 5 amperes.

Figura 13: circuito de potência

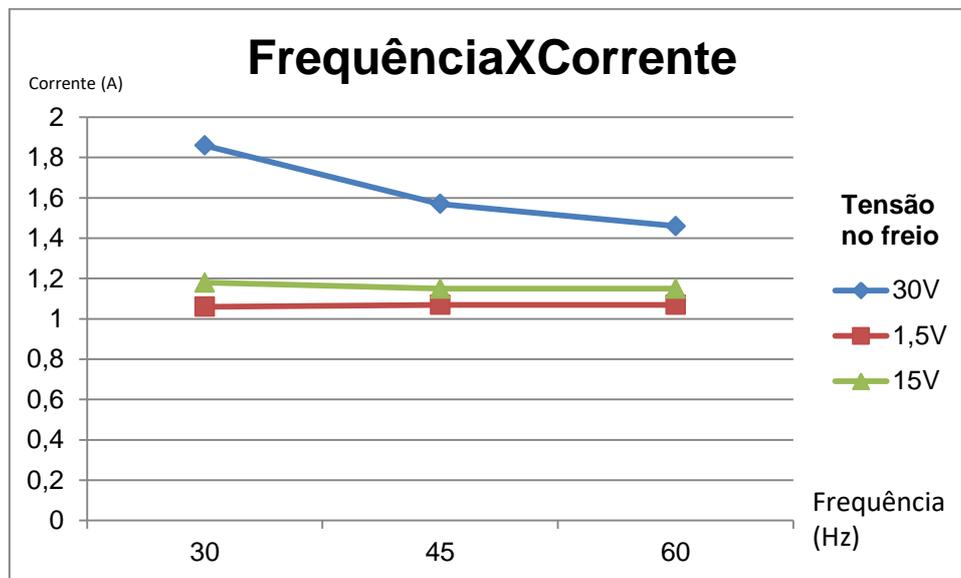


Fonte: autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajustando a tensão com o variac, foram coletados dados com três diferentes tensões no freio (1,5; 15 e 30V), onde foi medido com multímetro a corrente do motor trifásico em diferentes frequências do inversor de frequência (30, 45 e 60 Hz). Os dados são mostrados no gráfico a seguir com uma linha para cada tensão ajustada no variac.

Gráfico 1: Corrente no motor para diferentes valores de frequência no inversor em três diferentes tensões no freio



Fonte: autoria própria

Em partida direta, o indicador de intensidade de corrente elétrica apontou um aumento drástico na corrente, chegando a mais de 6 amperes. Em comparação com a partida com inversor de frequência, vemos que a partida se torna muito mais suave, com valor de intensidade de corrente elétrica muito inferior à partida direta.

Os testes na bancada que envolvem tensão, corrente e frequência puderam ser efetuados com êxito assim como esperado. O painel e toda a parte de comando do projeto funcionaram corretamente. Podemos ver as mudanças do equipamento com as imagens antes do início do projeto (figura 17) e no final estando pronto para uso (figura 18).

Figura 17: bancada antes do retrofit



Fonte: autoria própria

Figura 18: bancada depois do retrofit



Fonte: autoria própria

Porém o ponteiro do dinamômetro que indica a massa puxada pelo disco com as bobinas do dinamômetro estava impreciso e com muita vibração o que impossibilitou a coleta de dados. Uma possível solução seria trocar a conexão do mancal com o motor e trocar o disco do freio por peças mais uniformes e simétricas para diminuir a vibração. Uma consideração importante a se fazer é sobre a utilização de um ajuste de tensão eletrônico, pois o circuito utilizado anteriormente não funcionou como esperado. Uma possível resposta pode ser a utilização de carga indutiva em vez de resistiva, já que testes com resistência fora do projeto funcionaram como esperado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificada uma pequena variação para as tensões 1,5 e 15 volts e uma variação mais significativa com tensão em 30 volts. O que demonstra que em tensões mais altas a corrente costuma diminuir com maior intensidade com a variação da frequência no inversor de frequência. A bancada se demonstrou muito útil com relação à didática envolvendo circuitos de comando e potência e utilização de inversores de frequência, Controladores Lógicos Programáveis e também para simular motores trifásicos atuando com cargas variáveis. Devido a problemas com vibrações, resultados envolvendo eficiência energética se tornaram inalcançáveis, pois o medidor de massa do dinamômetro não funcionou corretamente e com isso não podemos fazer comparações de torque em diferentes padrões de funcionamento. Também foi possível notar que devido à grande diferença de tamanho do mancal com o disco e do torque excessivo gerado pelas bobinas, o motor não possui força suficiente para partir quando as bobinas estão energizadas tanto na partida direta quanto com inversor de frequência.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caderno sobre Ações de Eficiência Energética em Indústrias Brasileiras.

Elaborado por EPE- Empresa de pesquisa energética. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-sobre-acoes-de-eficiencia-energetica-em-industriasbrasileiras#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20brasileira%20responde%20por,da%20eletricidade%20consumida%20no%20Brasil>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CAPELLI, A. Energia Elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais. 1. ed. São Paulo: Érica, 2013. 272 p.

MATTEDE, H. **Como funciona o inversor de frequência.** 2022. Elaborada por Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-o-inversor-de-frequencia/>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MOTORES de indução alimentados por inversores de frequência PWM.

2016. Elaborada por WEG. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h10/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-50029351-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.

PETRUZELLA, F. D. **Electric Motors and Control Systems.** 1ª ed. New York: The McGraw-Hill Global Educations Holdings, 2013.

REIS, Luiz Octávio Mattos dos; KLAIBER, Walter; VISCONTI, Antônio Carlos. **Aspectos técnicos sobre o funcionamento e a utilização dos freios eletrodinamométricos.** Taubaté: Lorenzo do Brasil, 2015.

REIS, Luiz Octávio Mattos dos; SILVA, Valberto Ferreira da. **Aspectos técnicos sobre o funcionamento e a utilização do freio de foucault.** Taubaté: Schooltec Treinamentos Técnicos, 2015.

Rockwell Automation: catálogo de produtos. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products.html>. Acesso em: 13 dez. 2022

SANTOS, A. H. M. *et al.* **Conservação de energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.** 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. 621 p.

Schneider Eletric: Catálogos de produtos. Disponível em: https://loja.se.com/?gclid=Cj0KCQiAqOucBhDrARIsAPCQL1ZPtyqFzSvye2xEqbdCrUGHIGbbdOYW2iUIPRUC1CNizufeFVTclgaAp1gEALw_wcB. Acesso em: 12 dez. 2022.

SILVEIRA, C. B. **O que é PWM e Para que Serve?** 2016. Elaborado por Citisystems. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/pwm/>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SÓRIA, A. F. S.; FILIPINI, F. A. **Eficiência Energética**. 1. ed. Curitiba: Base Editorial, 2010. 272 p. **VARIABLE speed drives Altivar 12: For 3-phase asynchronous motors from 0.18 to 4 kW/0.25 to 5 HP**. Elaborada por Schneider Electric. Disponível em: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA2ED2130101EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=DIA2ED2130101EN. Acesso em: 12 dez. 2022.

VIANA, A. N. C. *et al.* **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed. Campinas: FUPAI, 2012. 315 p. **Schneider Electric**: Disponível em: https://loja.se.com/?gclid=Cj0KCQiAqOucBhDrARIsAPCQL1ZPtyqFzSvye2xEqbdCrUGHIGbbdOYWi2iUIPRUC1CNizufeFVTclgaAp1gEALw_wcB