

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS RESTINGA**

BANCADA DIDÁTICA PARA MOTORES TRIFÁSICOS:

LUCIANO BARTH VIEIRA

**Porto Alegre
2018**

LUCIANO BARTH VIEIRA

BANCADA DIDÁTICA PARA MOTORES TRIFÁSICOS:

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, junto ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. João Roberto Gabbardo

Co-orientador: Prof. Fabio Irigon Pereira

**Porto Alegre
2018**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Júlio Xandro Heck

Pró-Reitora de Ensino: Prof. Lucas Coradini

Diretor-geral do *Campus* Restinga: Prof. Gleison Samuel do Nascimento

Coordenador do CST em Eletrônica Industrial: Prof. Bruno Canal

Bibliotecária-chefe do *Campus* Restinga: Paula Porto Pedone

LUCIANO BARTH VIEIRA

BANCADA DIDÁTICA PARA MOTORES TRIFÁSICOS:

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para a obtenção do grau de Tecnólogo
em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. João Roberto Gabbardo
Co-orientador: Prof. Fabio Irigon Pereira

Prof. João Roberto Gabbardo

Prof. Fabio Irigon Pereira

Membro da Banca - MSc. João Roberto Gabbardo - IFRS

Membro da Banca – MSc. Bruno Canal - IFRS

Membro da Banca – Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves - UERGS

Dedico este trabalho à minha esposa e família, que me incentivaram a continuar lutando por esta causa. Meu muito obrigado pelo carinho de todos e por acreditarem. Aproveito para pedir desculpas pelo tempo perdido nesta caminhada. Sei que todo conhecimento é válido mas o tempo também.
Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Obrigado a todos que estiveram presentes nesta jornada, obrigado aos amigos que sempre estiveram presentes e me fazendo rir. Obrigado aos colegas de trabalho que foram flexíveis com meus horários e compreenderam que era passageiro. Obrigado a todos os professores que conseguiram transmitir seus conhecimentos de maneira exemplar. Obrigado família por ser meu porto seguro e por acreditar em mim.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido levando em conta a necessidade de incluir experimentos práticos nas disciplinas relacionadas a máquinas elétricas do curso superior de tecnologia em Eletrônica Industrial. Com o intuito de elucidar e prover formas práticas de aprendizado, foi desenvolvida uma bancada de ensaio para motores trifásicos, acompanhada de freio magnético e célula de carga, frutos de doação da Instituição Pão dos Pobres. O trabalho consiste em integrar o controle digital através do uso do software LabView 2012, um computador, um Elvis II+, um freio magnético e uma célula de carga. Através do computador é possível exercer o controle do motor, podendo ligar e desligar, controlar a frequência de acionamento e o sentido de giro. Pode-se também monitorar em tempo real os dados de velocidade e força aplicada na célula de carga. Se necessário, podemos aplicar manualmente uma tensão contínua no freio magnético, gerando um torque contrário ao sentido de giro do motor. A variação do torque medido é representada através do gráfico da célula de carga.

Palavra-chave: Eletrônica; Bancada; Controle.

ABSTRACT

This work was developed taking into account the need to include practical experiments in the disciplines related to electric machines of the upper course of technology in Industrial Electronics. With the purpose of elucidating and providing practical learning forms, a test bench was developed for three-phase motors, accompanied by magnetic brake and load cell, donation fruits of the Pão dos Pobres Institution. The work consists of integrating digital control through the use of LabView 2012 software, a computer, an Elvis II +, a magnetic brake and a load cell. Through the computer it is possible to exercise the control of the motor, being able to turn on and off, to control the frequency of drive and the direction of rotation. You can also monitor the speed and force data applied to the load cell in real time. If necessary, we can manually apply a continuous voltage to the magnetic brake, generating a counter torque to the direction of rotation of the motor. The variation of the measured torque is represented by the graph of the load cell.

Keywords: Electronics; Workbench; Control.

LISTA DE FIGURAS

1. Motor de indução, trifásico.....	14
2. Inversor de frequência.....	15
3. LabView	16
4. Freio magnético.....	17
5. Célula de carga.....	17
6. Esquema de ligação do motor.....	18
7. Esquema de ligação de motores.....	19
8. Painel de Alimentação e Proteção.....	19
9. Painel de Alimentação e Proteção – Aberto.....	20
10. Esquema Elétrico de comando da Contatora	21
11. Inversor de frequência.....	21
12. Módulo DeLorenzo 2650.....	23
13. Esquema de ligação da Inversora.....	24
14. Elvis II+	25
15. Diagrama de ligação BC337.....	25
16. Ligação pinos DIO1 e DIO2.....	26
17. Sensor de rotação.....	27
18. Osciloscópio, sinal do sensor.....	27
19. Divisor de tensão resistivo.....	28
20. Ligação dos pinos de entrada do sensor de frequência.....	29
21. Esquema de ligação, célula de carga.....	29

22. Ligação física do controle de velocidade.....	30
23. Módulo liga/desliga.....	31
24. Reta de levantamento do sistema.....	32
25. Módulo de velocidade.....	33
26. Módulo de Leitura de frequência.....	33
27. Módulo de escorregamento.....	34
28. Módulo de leitura da célula de carga.....	35
29. Fonte de alimentação C.C.....	36
30. Freio magnético.....	37
31. Fixação da célula de carga.....	37

LISTA DE TABELAS

1. Tabela de configuração dos parâmetros da inversoras..... 22
2. Levantamento do comportamento do sistema de forma gráfica.....32

Lista de Fórmulas

1. Velocidade Síncrona de motor.....14
2. Escorregamento do motor.....14
3. Frequência de rotação do motor.....34
4. Número de polos do motor.....37

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Fundamentos Teóricos	13
2.1 Motor de indução trifásico.....	13
2.2 Inversor de Frequência.....	14
2.3 LabView.....	15
2.4 Freio Magnético.....	16
2.5 Célula de Carga.....	17
3. Metodologia.....	18
4. Resultados.....	40
5. Considerações Finais.....	41
6. Referências Bibliográficas.....	42

1. INTRODUÇÃO

A prática do “Aprender Fazendo” defendida por John Dewey já vem sendo utilizada em diversos campos do conhecimento.

“Com efeito, sendo a educação o resultado de uma interação, através da experiência, do organismo com o meio ambiente, a direção da atividade educativa é intrínseca ao próprio processo da atividade. Não pode haver atividade educativa, sem direção, sem governo, sem controle. Do contrário, a atividade não será educativa, mas caprichosa ou automática (DEWEY, 1978, p.22).”

Portanto, a junção do conhecimento com a prática é fundamental para que possamos exercer nosso saber de maneira funcional e não automática.

A teoria relacionada a disciplinas associadas à eletricidade exigem muita abstração mental, fazendo com que o aluno tenha de imaginar como, por exemplo, e de maneira bem simplificada, a corrente fluindo através da bobina de um motor, o que gera um campo magnético e faz o motor girar. Imagine agora a situação de um motor trifásico com rotor bobinado. O nível de abstração vai aumentando de acordo com a complexidade do conteúdo.

O objetivo deste trabalho é criar uma bancada didática de ensaio para motores trifásicos, trazendo um pouco de aplicação prática à teoria.

Utilizando conceitos de motores, sensores, programação, eletrônica analógica e digital conseguimos criar uma bancada que engloba todos estes conhecimentos de maneira iterativa com o usuário.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entendermos a bancada como um todo precisamos entender, de maneira simplificada, um pouco sobre motor trifásico, inversora de frequência, programa LabView, freio magnético, célula de carga.

2.1. Motor de Indução Trifásico.

Por definição, a palavra motor é qualquer dispositivo que emprega algum tipo de energia para dar movimento à máquinas. Portanto, um motor elétrico utiliza eletricidade para mover seu eixo.

O fato do motor ser de indução, significa dizer que a parte girante não possui contato com o meio externo, ou seja, o rotor (parte girante) está imerso em um campo rotacional gerado pelo estator (parte fixa). Estas máquinas elétricas são consideradas assíncronas e produzem um conjugado apenas quando a velocidade do rotor é diferente da velocidade síncrona.

Embora o motor que trabalharemos neste projeto possua fios para acesso às bobinas do rotor, o que o caracteriza como motor síncrono, eles serão ligados em curto para que o motor funcione como uma máquina assíncrona, tipo “gaiola de esquilo” mostrado na **Figura 1**.

O fato de ser trifásico significa que o motor utilizará três fases defasadas em 120° para a alimentação de suas bobinas.

A velocidade síncrona do motor é a velocidade do campo girante criado pelo estator e seu valor depende do número de polos do motor e da frequência da corrente circulante nas bobinas do rotor. A fórmula para o cálculo da Velocidade de sincronismo pode ser calculada através da equação (1).

$$V = (120 \times f)/n \quad (1)$$

V = Velocidade síncrona; f = Frequência de acionamento; n = N° de Polos do motor.

Como citado anteriormente, o conjugado do motor surge quando existe a diferença entre a velocidade síncrona e o giro do rotor. Esta variação é conhecida como escorregamento, seu valor é expresso em porcentagem e a equação (2) representa seu calculo.

[Simone, Gilio Aluisio. 2010]

$$S = ((f_c - f_r)/f_c) \times 100 \quad (2)$$

S = Escorregamento; f_c = Frequência do campo; f_r = Frequência do rotor

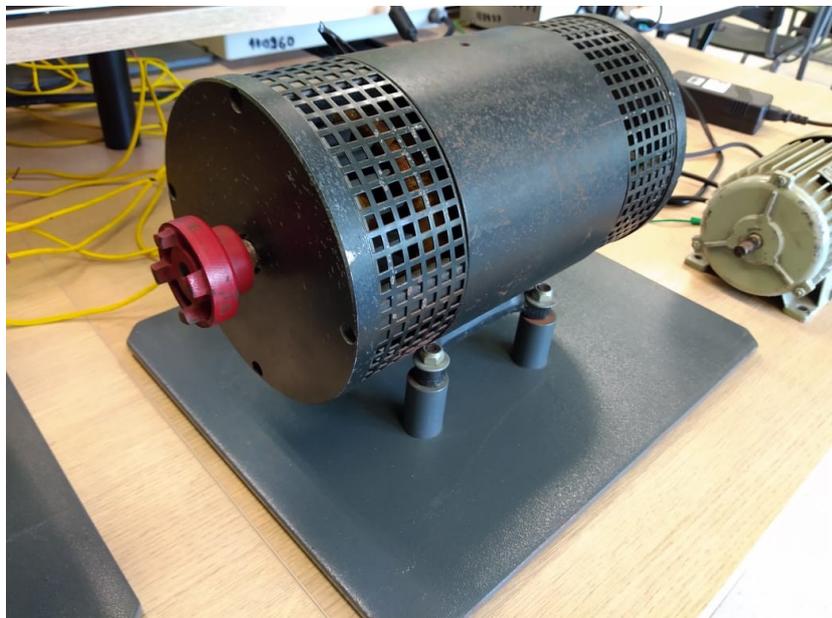


Figura 1 Motor de indução, trifásico.

2.2. Inversor de Frequência

Inversores de frequência são equipamentos que geram três fases defasadas 120° entre si e capazes de controlar velocidade de giro de máquinas elétricas variando a frequência e tensão de saída. Vale lembrar que o torque produzido pelo motor é proporcional ao quadrado da tensão, portanto, é possível controlar

todos os parâmetros do motor utilizando a inversora, já que através dela pode-se controlar, também, os valores de tensão. [Hart, Daniel W. 2012]

A inversora utilizada no trabalho é o modelo CFW08 plus mostrado na **Figura2**, da empresa WEG. Seu controle pode ser realizado através da IHM (interface homem máquina) ou de maneira remota através dos pinos de acesso no painel frontal. Estes pinos podem ser programados conforme a necessidade do usuário, podendo controlar por exemplo, sentido de giro, frequência de acionamento e liga e desliga. Também é possível visualizar alguns dados através do display da IHM, como por exemplo, corrente, tensão e frequência de acionamento.

A maneira de programação simples e é descrita no manual do usuário, disponibilizado pelo fabricante.



Figura 2: Inversor de frequência.

2.3. Labview

O software LabView foi desenvolvido pela empresa National Instruments. Ele possui duas interfaces, uma gráfica e outra de programação, o que facilita a integração homem-máquina como mostrado na **Figura 3**. O programa,

diferentemente de uma linguagem sequencial, funciona de maneira concorrente, ou seja, os blocos de programação são executados de acordo com os dados que necessita.

Este tipo de programação é similar a maneira que as FPGA¹ funcionam. É possível criar diversos processos rodando em paralelo, de maneira que um não interfira no outro.

Neste TCC utilizamos os processos de *While Loop*, laços condicionais fechados, em paralelo, mas também é possível a criação de etapas sequenciais caso seja necessário. O LabView e os equipamentos da empresa National Instruments são amplamente utilizados na indústria, como por exemplo, na área aeronáutica, exercito e automotiva.

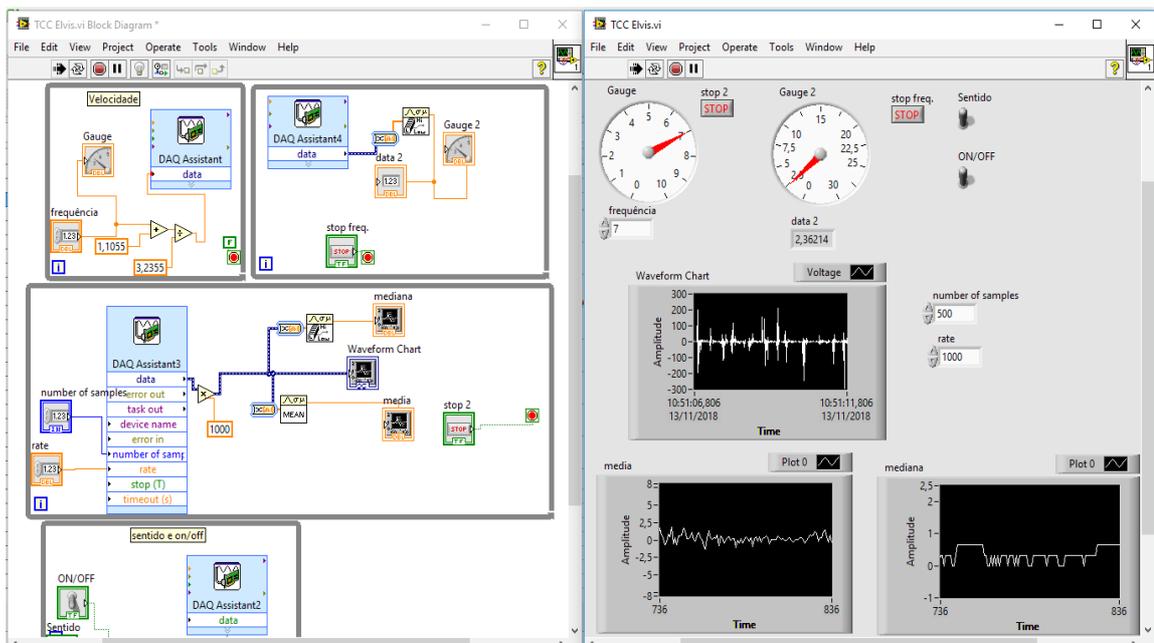


Figura 3 LabView

2.4. Freio Magnético

1FPGA é a abreviação de Field Programmable Gate Array – algo como “Matriz de Portas Programáveis em Campo”. Pode ser entendido como um chip reprogramável.

O freio magnético mostrado na **Figura 4**, utiliza leis da física de Faraday e Lenz. Seu funcionamento consiste em criar campo magnético através de bobinas. Este campo por sua vez induz corrente parasita no disco girante. Esta corrente também criará um campo magnético, porém, que se opõe ao campo gerado pela bobina, fazendo com que apareça uma força contrária ao giro do disco. Portanto, conforme a intensidade do campo gerado, maior a força que se opõe ao movimento. [HALLIDAY, David. 2004]

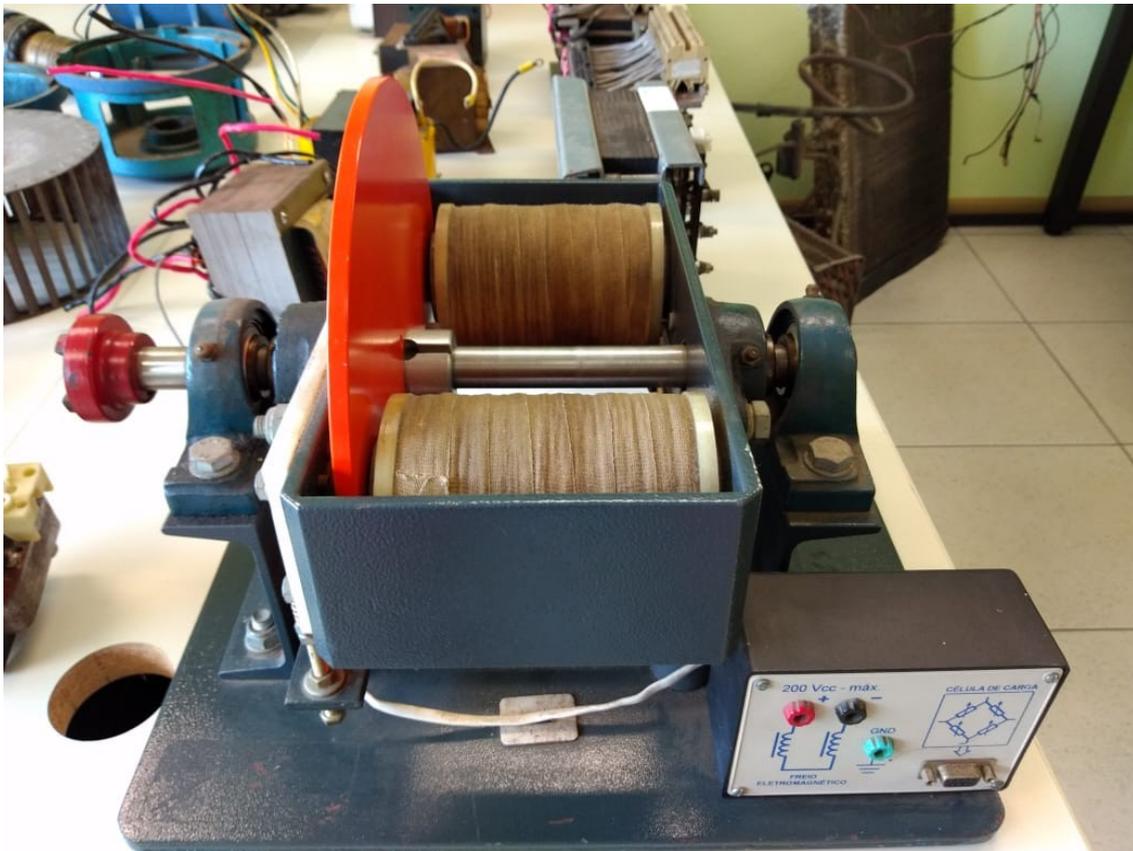


Figura 4: Freio magnético

2.5. Célula de carga

A célula carga mostrada na **Figura 5**, é um sensor de força que possui um ou mais extensômetros acoplados em seu corpo. Estes extensômetros estão ligados através de uma ponte de *wheatstone* e medem a deformação mecânica do material. Sua deformação altera a resistência do extensômetro, que por sua vez gera uma pequena variação de tensão que é medida através de um equipamento.

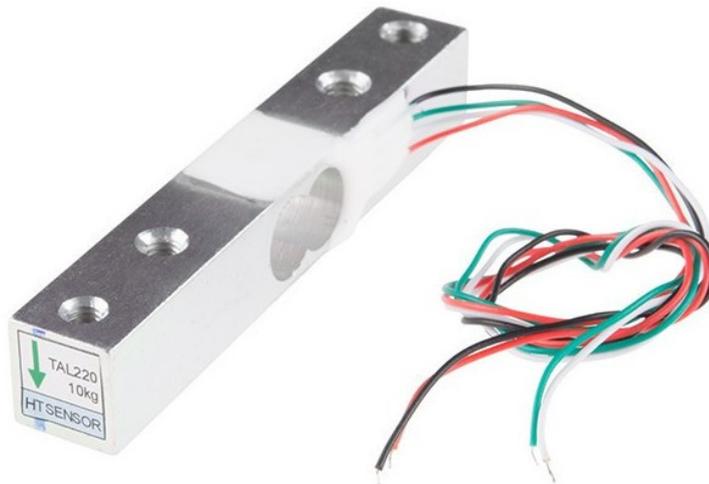


Figura 5: Célula de carga

3. Metodologia

Tendo em vista que possuíamos motores trifásicos, motores CC, inversor de frequência e freio magnético, a ideia de construir uma bancada de ensaio surgiu. Por se tratar de equipamentos usados, inicialmente realizamos testes de integridade, para podermos antes de tudo, avaliar a condição de cada um dos equipamentos disponíveis. Vale salientar que não possuímos nenhum tipo de dados a respeito dos motores, pois estão sem nenhuma identificação, bem como da tensão da rede elétrica que devem ser ligados.

Para os motores trifásicos o desafio inicial foi descobrir o esquema de ligação das bobinas. Foi então realizado o teste de continuidade de cada bobina, a fim de identificar uma por uma. Como pode-se observar na **Figura 6**, o esquema levantado mostrou que as bobinas inicialmente estavam ligadas em paralelo.

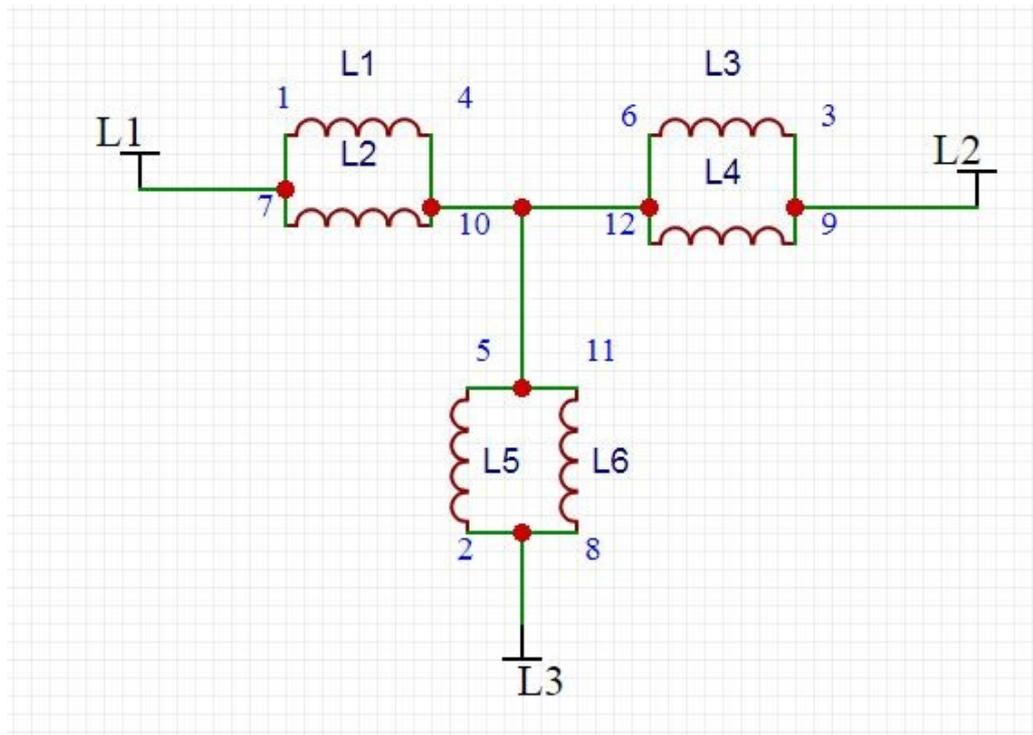


Figura 6 Esquema de ligação do motor

Existem algumas maneiras de ligação das bobinas de motores elétricos de 12 fios conforme **Figura 7**, que variam de acordo com a tensão da rede de alimentação e a tensão de alimentação de cada bobina. Como mencionado anteriormente, não possuímos nenhum dado a respeito do motor, portanto, das diversas configurações

passíveis de serem implementadas, optamos por segurança, realizar a ligação Estrela-Série. Esta decisão leva em conta a possibilidade do motor trifásico possuir uma alimentação de 127V por bobina, o que transformaria a ligação estrela série em uma rede de 380V de linha e não 760V como mostrado na figura.

Como a rede elétrica onde ligamos o motor é trifásica de 380V, o esquema de ligação foi alterado para situação de maior tensão de alimentação.

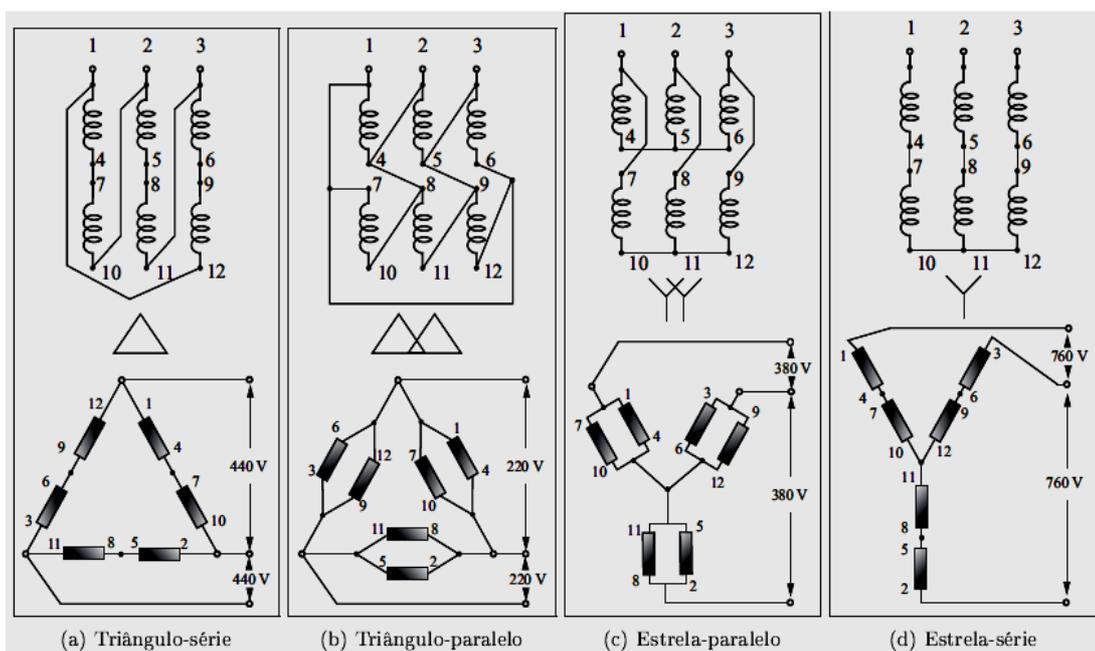


Figura 7 Esquema de ligação de motores

Após a análise e alteração da ligação do motor trifásico, partimos para o painel de alimentação e proteção mostrado na **Figura 8**.



Figura 8 Painel de Alimentação e Proteção

Inicialmente era necessário entender o que estava presente dentro deste painel, para que pudéssemos entender o seu funcionamento. Após aberto **Figura 9**, pode-se observar a presença de uma contatora cujo o objetivo é realizar o contato entre terminais. Seu acionamento é realizado através de uma bobina que deve ser alimentada para que os contatos principais sejam fechados.



Figura 9 Painel de Alimentação e Proteção - Aberto

Realizamos a limpeza interna do painel e alteramos o esquema de ligação da contatora. A ligação da bobina de acionamento estava entre fases, sugerindo que a antiga tensão de alimentação era de 220v, fato esse, que se confirmou com a informação escrita na própria contatora. Como nossa rede é de 380v foi necessário

realizar algumas modificações, dentre elas, a colocação de etiquetas mostrando que as tomadas do painel frontal deixaram de ser de 110v e 220v e passaram a ser 220v e 380v respectivamente.

O esquema elétrico de comando da contatora neste painel é o seguinte: uma fase passa pela chave de acionamento; pelo botão de emergência; pela lâmpada indicativa e retorna para a contatora, fazendo assim o seu acionamento como ilustrado na **Figura 10**.

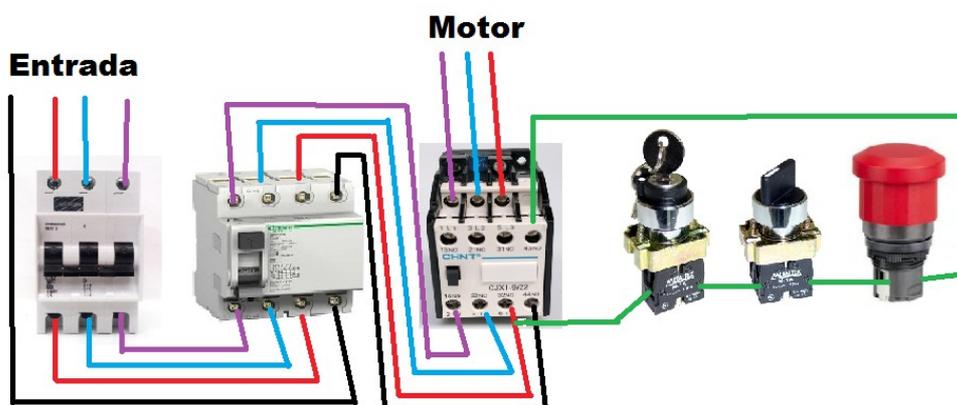


Figura 10 Esquema Elétrico de comando da Contatora

Todas as fases antes de chegarem à contatora passam por um disjuntor trifásico e por um disjuntor diferencial residual antes de alimentar todos os circuitos.

Depois do painel de proteção estar limpo e modificado, realizamos um teste com o motor trifásico ligando-o diretamente nos *bornes* do painel.

Como o motor possui o rotor bobinado foi feito um curto entre os terminais das suas bobinas para que ele possa girar e pode-se observar que o motor estava funcionando de maneira correta.

Neste momento, após ter testado o painel de proteção e o motor trifásico, partimos para a inversora de frequência **Figura 11**. Esta inversora já possuía uma configuração de sua utilização anterior, portanto, antes de mais nada, foi necessário reconfigurar seus padrões para sua nova aplicação.



Figura 11 Inversor de frequência

De acordo com o manual de instrução disponibilizado pelo fabricante, algumas funcionalidades deveriam estar ativas ou configuradas.

Para nossa aplicação necessitaríamos configurar os parâmetros conforme a **tabela 1.**

Tabela 1		
Parâmetro	Função	Valor
P000	Parâmetro de Acesso	5
P202	Tipo de Controle	0
P220	Seleção da Fonte	3
P221	Seleção da Referência / LOCAL	0
P222	Seleção da Referência / REMOTO	1
P229	Seleção de Comandos/ LOCAL	0
P230	Seleção de Comandos/ REMOTO	1
P231	Seleção do Sentido de Giro	2
P263	Função da Entrada Digital DI1	9
P264	Função da Entrada Digital DI2	0
P265	Função da Entrada Digital DI3	11
P266	Função da Entrada Digital DI4	11

Para conseguirmos controlar a inversora de maneira remota, ou seja, através de seus pinos digitais e analógicos, precisamos ativar o botão para o controle Remoto. Existe a possibilidade de deixar o modo local desativado, porém, julgou-se interessante deixa-lo ativo para que se possa controlar o motor sem a obrigação do uso do computador.

Antes de realizar os testes com o comando remoto, fizemos a ligação do motor trifásico de maneira controlada e gradual, através da *IHM*, controlando a frequência de chaveamento para que conseguíssemos observar qualquer tipo de inconformidade. Neste teste constatamos que tudo funcionou de maneira satisfatória. Partiu-se então, para a parte de controle remoto da bancada. Neste momento, devido à existência de uma bancada de eletrônica de potência, cujo um dos módulos permitia o controle pelo computador resolvemos então por tentar utilizá-lo. O módulo em questão, é o DL2650 da fabricante DeLorenzo, mostrado na **Figura 12**.



Figura 12 Módulo DL2650

Criamos uma programação através do Software LabView e iniciamos alguns testes. Somente neste momento é que percebemos que o módulo possuía apenas 2 saídas analógicas e 1 relé (saída digital). No entanto, a inversora precisaria de duas saídas do tipo digital, ver **Figura 13**, para que fosse possível realizar o controle de Liga/Desliga e Sentido de giro do motor.

Conector XC1		Descrição		Especificações	
		Função Padrão de Fábrica			
1	DI1	Entrada Digital 1		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
		Habilita Geral (remoto)			
		Entrada Digital 2			
		Sentido de Giro (remoto)			
2	DI2	Entrada Digital 3		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
		Reset			
3	DI3	Entrada Digital 4			
		Gira/Para (remoto)			
4	DI4	Entrada Digital 1		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
		Habilita Geral (remoto)			
5	GND	Referência 0V			4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA
		Referência de frequência (remoto)			
6	AI1	Entrada Analógica 1		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
		Referência para o potenciômetro			
7	+10V	Referência de frequência (remoto)			4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA
		Referência para o potenciômetro			
8		Sem Função		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
9		Sem Função			
10	NF	Contato NF do Relé 1			4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA
		Sem Erro			
11	Comum	Ponto Comum do Relé 1		4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA	
		Contato NA do Relé 1			
12	NA	Contato NA do Relé 1			4 entradas digitais isoladas Nível alto mínimo: 10Vcc Nível alto máximo: 30Vcc Nível baixo mínimo: 3Vcc Corrente de Entrada: -11mA @ 0Vcc Corrente de Entrada Máxima: -20mA
		Sem Erro			

Figura 13 Diagrama de ligação - Manual do usuário WEG.

Em um primeiro momento tentamos acessar os pinos de controle do relé, via software, porém não obtivemos sucesso. Realizamos a abertura do módulo para visualizar quais pinos físicos estavam ligados, constatou-se que os pinos estavam conectados a um chip FPGA, portanto, impossibilitando o acesso direto ao relé.

Surgiu a possibilidade da utilização de uma plataforma didática, chamada ElvisII+, da fabricante National Instruments demonstrada na **Figura 14**, que é programável com o software LabView e que possui outras funções que não estavam presentes no módulo DL2650. Nesta plataforma já está incorporada uma matriz de contato, o que facilitaria o processo de inserção de componentes para auxiliar no

controle. Optamos então por utilizar esta nova ferramenta.

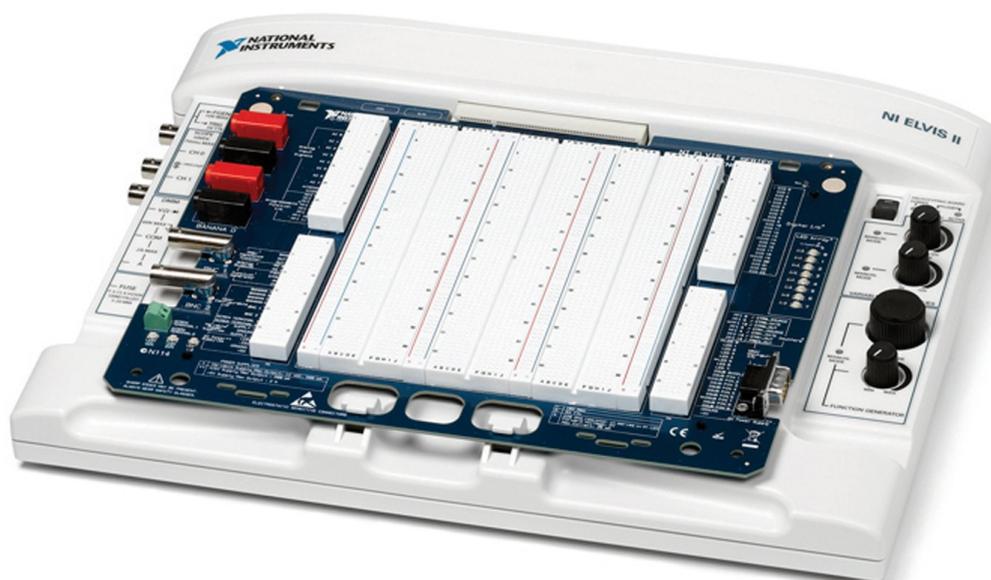


Figura 14 ElvisII+

Foi desenvolvido um novo programa para conseguir controlar remotamente a inversora de frequência. Nele criamos os controles de liga/desliga, sentido de giro, frequência de acionamento e leitura do sensor indutivo.

Para os controles de liga/desliga e sentido de giro precisaríamos de saídas digitais, porém os níveis de tensão entre a inversora e o Elvis eram incompatíveis. Como pode ser visto na Figura 13 os níveis que o Elvis deveria fornecer para inversora deve ser de 0V a no mínimo 10V, para que conseguíssemos realizar o controle. Para resolver este problema utilizamos dois transistores BC337 que funcionariam como conversores de nível, *level translator*, conforme o diagrama da Figura 15 demonstra.

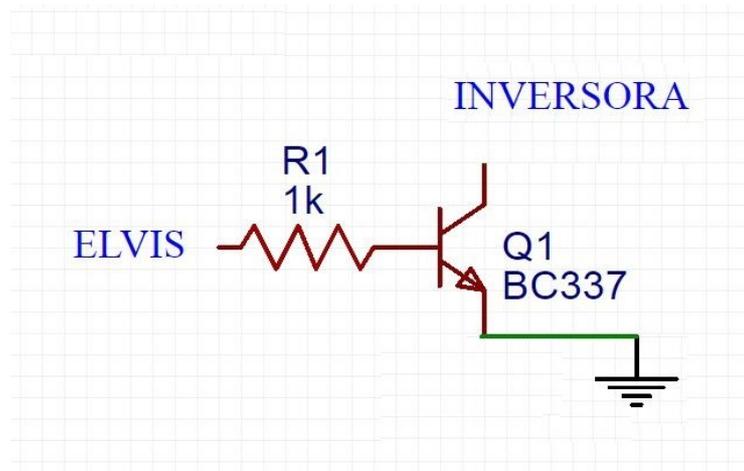


Figura 15 Diagrama de ligação BC337

Vale salientar, que a ligação dos transistores utilizou resistores de $1k \Omega$ na base para limitação de corrente.

Na **Figura 16** podemos perceber que os pinos utilizados no Elvis são DIO1 e DIO2, que são pinos configuráveis como entrada/saída digital.

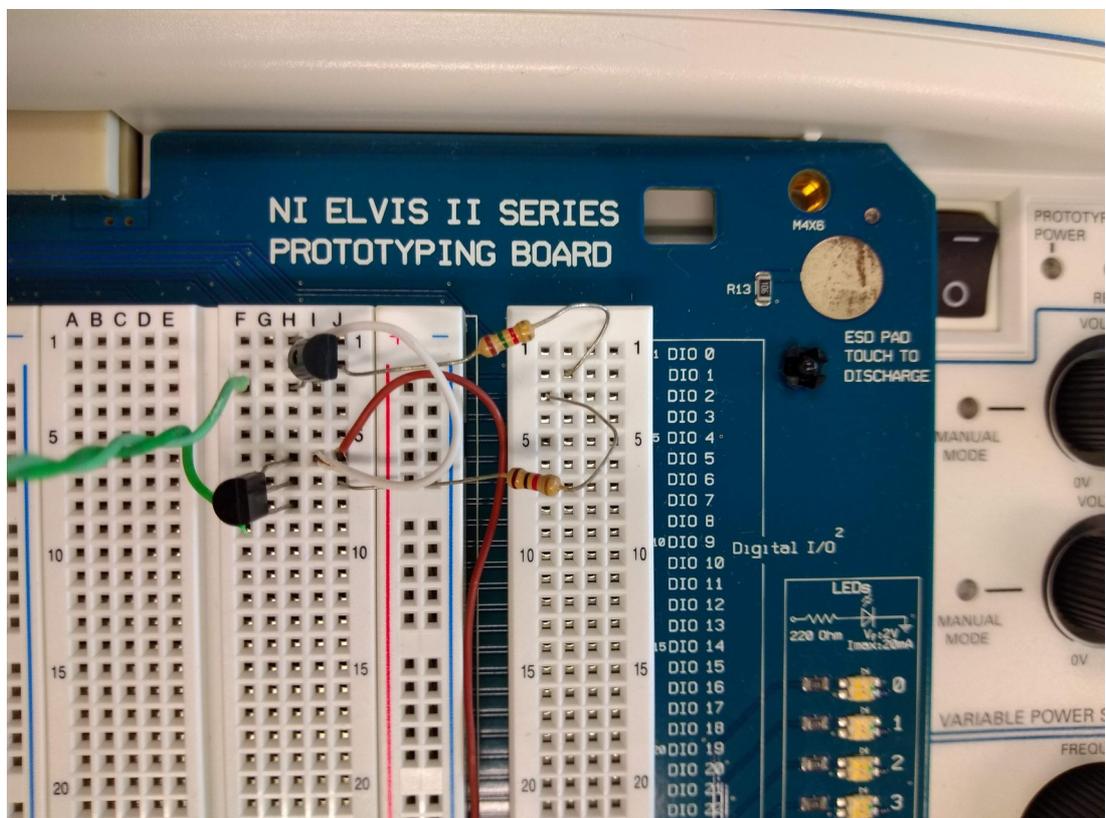


Figura 16 Ligação pinos DIO1 e DIO2

Para a leitura da velocidade do motor, utilizamos um sensor indutivo para detectar a passagem de um ímã de neodímio que foi fixado no eixo do motor, **Figura 17.**

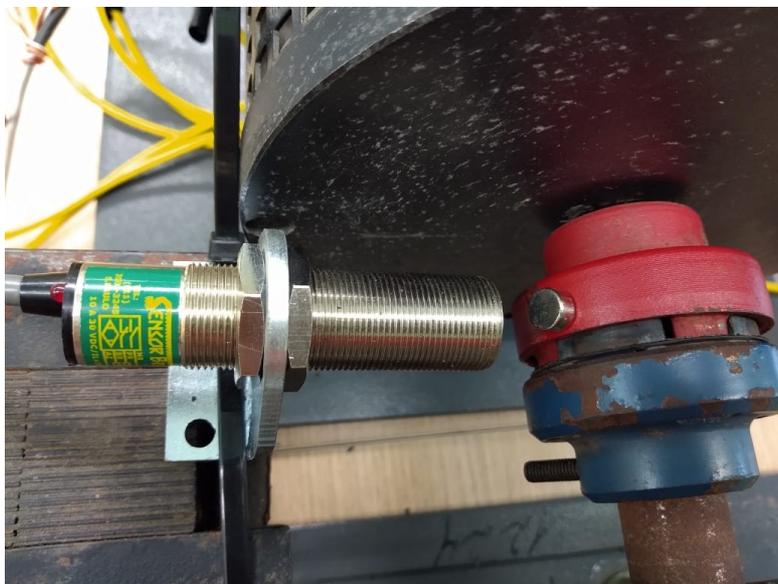


Figura 17 Sensor de rotação

O sensor envia um sinal de pulso quadrado com amplitude entre 0v e V_{cc} , que pode ser visualizado através da tela de um osciloscópio, **Figura 18.**

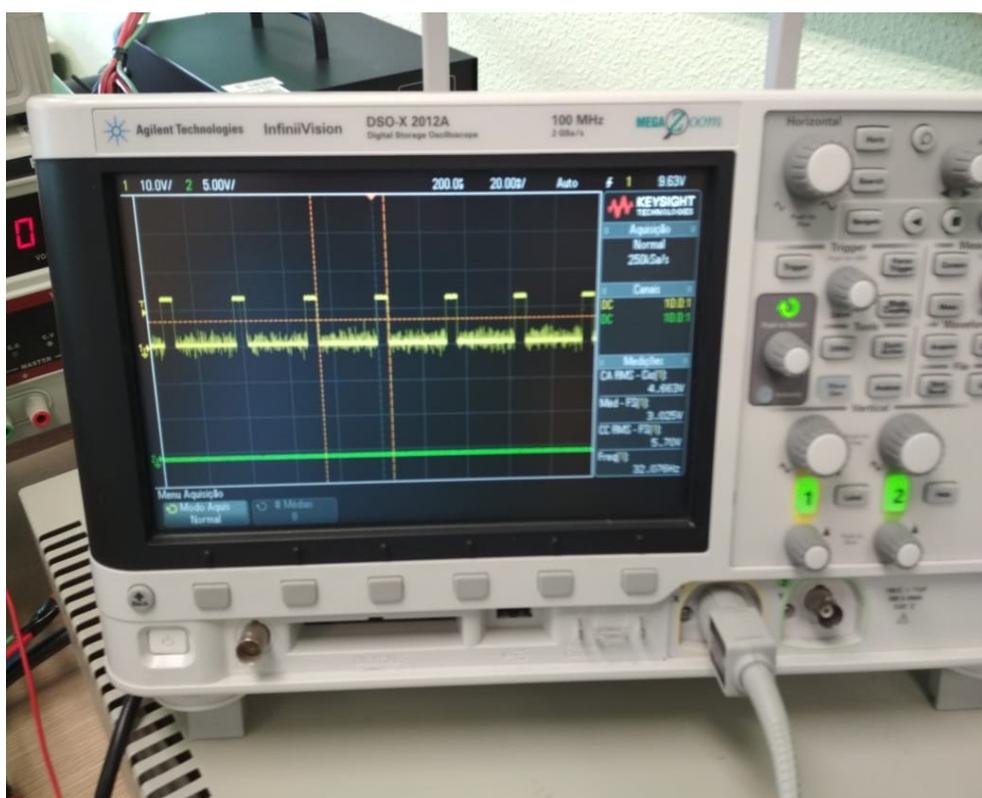


Figura 18 Osciloscópio, sinal do sensor.

Como a tensão de alimentação do sensor é de 15V e o Elvis necessita de um pulso com amplitude máxima de 5v, tivemos que condicionar o sinal antes de sua leitura. Para reduzir a tensão utilizamos um divisor resistivo conforme **Figura19**.

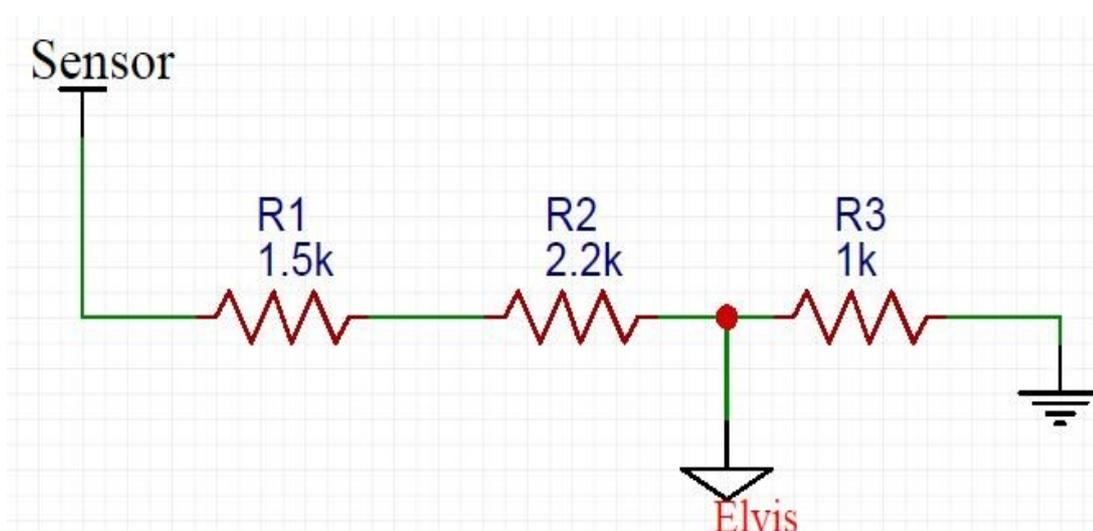


Figura 19 Divisor de tensão resistivo

A tensão resultante fica com o valor em torno de 3,2v, sendo assim, suficiente para a leitura do sinal.

O pino de leitura do Elvis foi o PFI8 / CTR0_source, conforme pode ser visualizado na **Figura 20**. Foi escolhido este pino, pelo fato de conseguirmos mensurar a frequência através dele. Antes de escolhermos este, testamos com entradas digitais normais, mas a janela e a taxa de amostragem não tornavam possível a captura do sinal de maneira satisfatória.

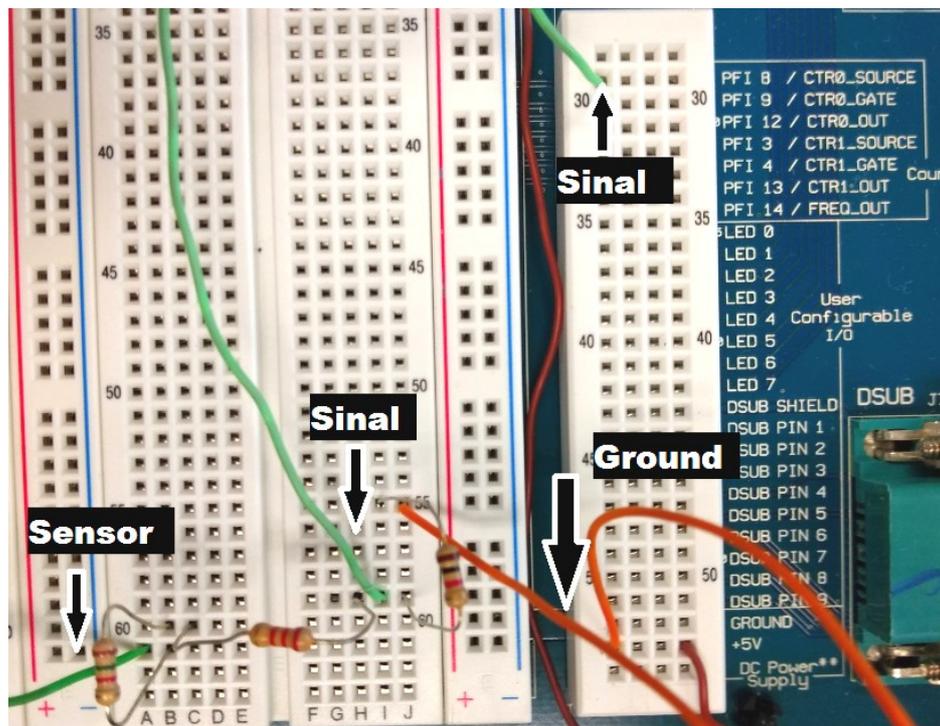


Figura 20 Ligação dos pinos de entrada do sensor de frequência.

Para a ligação da célula de carga inicialmente realizamos a ligação elétrica conforme a **Figura 21**.

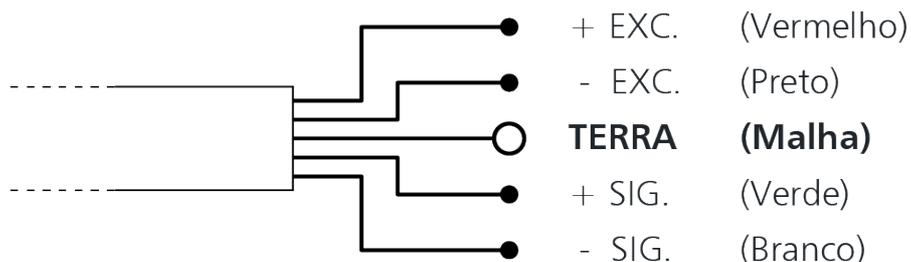


Figura 21 Esquema de ligação – Célula de Carga

Como a leitura do sinal da célula de carga necessita de medida diferencial entre os pinos, optamos por utilizar o pino analógico AI0, com medida diferencial entre os pinos +AI0 e -AI0.

Conforme a **Figura 13**, para a realização do controle da frequência de acionamento do motor, seria necessário a utilização de um potenciômetro.

Tendo em vista que este potenciômetro serviria apenas para controlar a tensão no pino 6 da inversora, variando a tensão gradativamente de 0V à 10V,

optamos por utilizar uma saída analógica do Elvis para efetuar este controle. Para isso utilizamos o pino analógico programável, que o Elvis também utiliza como fonte ajustável, conforme demonstra a **Figura 22**. Vale ressaltar que as referências de terra estão todas em curto, em todas as máquinas. Isso deve ser feito para que o referencial de tensão entre os módulos da bancada sejam os mesmos.

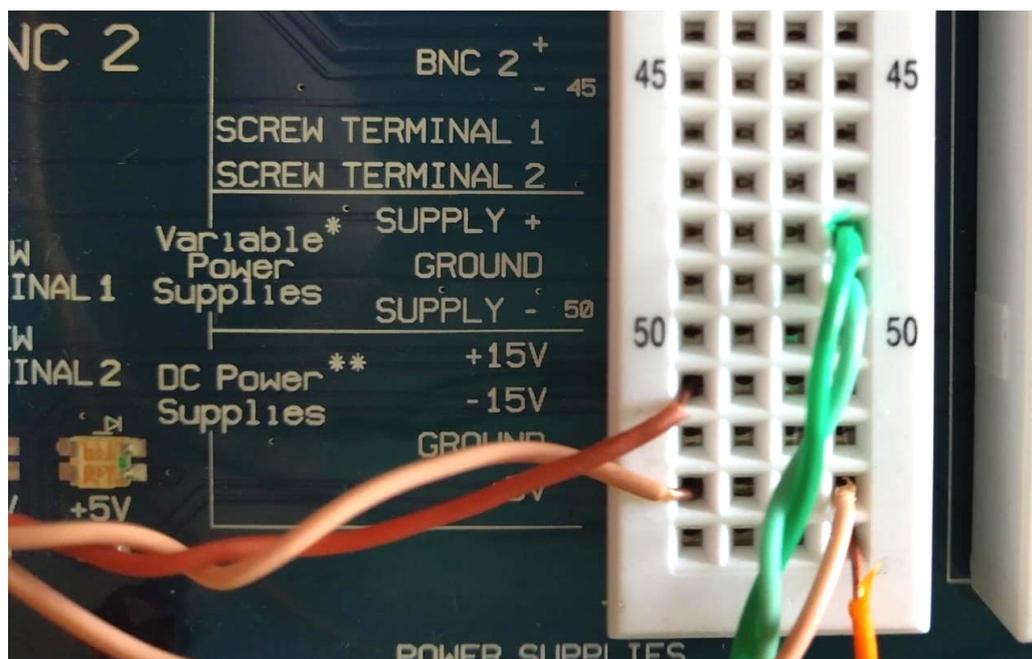


Figura 22 Ligação física do controle de velocidade

Partimos agora para a parte de programação e criação do software que comandará toda a bancada.

Cada um dos módulos descritos acima foram separados no programa, a fim de manter sua execução de maneira separada, podendo então, cada um ser acionado de maneira distinta.

Começando pelo módulo de comando das funções de liga/desliga. A parte de programação deste módulo pode ser visto na metade esquerda e a parte gráfica na metade direita da **Figura 23**.

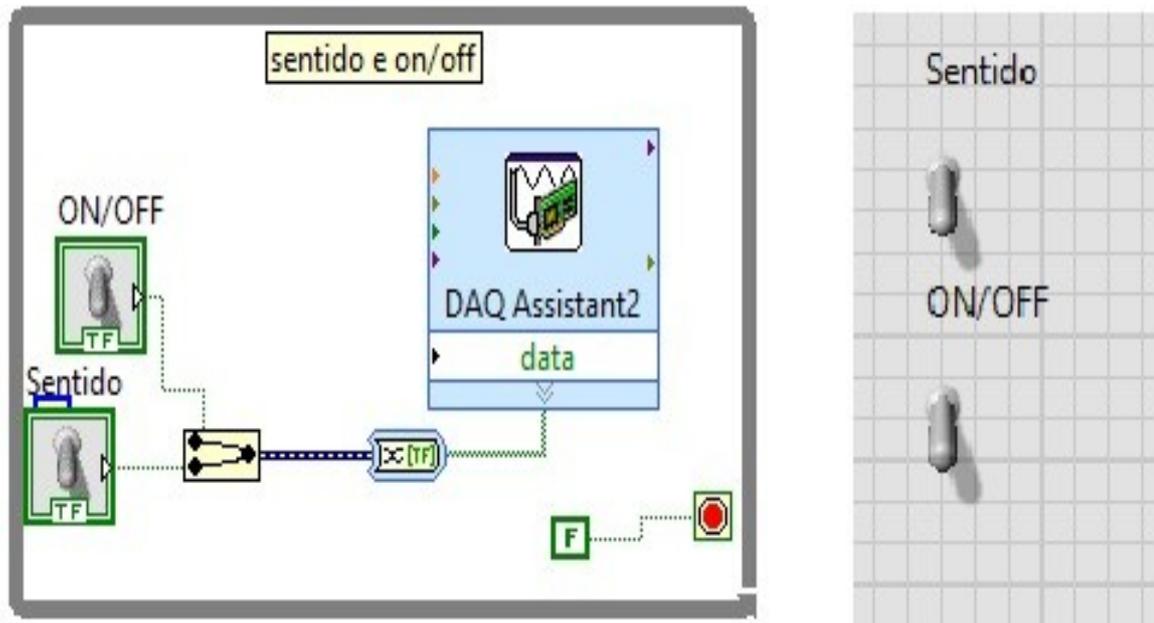


Figura 23 Módulo Liga/desliga

Cada um dos dois botões podem gerar um dado booleando, TRUE ou FALSE, que será enviado para os pinos DI01 e DI02. Como estamos utilizando dois pinos de uma porta inteira de 16 pinos, precisamos multiplexar os dados para serem escritos na porta. Note que na figura o botão ON/OFF está sendo ligado acima do botão SENTIDO. Esta será a ordem de escrita, representando o pino DI01 e DI02 respectivamente. O módulo que aparece na linha de ligação do multiplexador e com o DAQ, transforma um DynamicData em um array booleano.

Todos os módulos estão dentro de um quadrado cinza, este quadrado é um *While Loop*, que fica sendo executado até que uma determinada condição aconteça. Para este módulo a condição nunca será atendida, ficando em *loop* infinito até o programa ser pausado.

Para o módulo de controle de velocidade, inicialmente foi necessário realizar o levantamento da curva de Frequência de Rotação sem carga x Tensão aplicada, conforme **Tabela 2**.

	Tensão aplicada na inversora	Frequência de Rotação sem carga
0	1,12	-1,1055
1	2,13	2,13
2	5,26	5,36
3	8,37	8,601
4	11,53	11,83
5	14,8	15,072
6	18	18,3075
7	21,34	21,543
8	24,68	24,7785
9	27,99	28,014
10	31,15	31,2495

Através da **Figura 24** pode-se perceber que a resposta é praticamente linear. Gerando a fórmula:

$$F = (V * 1,1055) / 3,2355. \quad (3)$$

F = Frequência de rotação; V = Tensão aplicada

Nela, pode se perceber que a velocidade do motor é diretamente proporcional a tensão de controle do pino da inversora. Utilizaremos estes parâmetros para configurar nosso módulo.

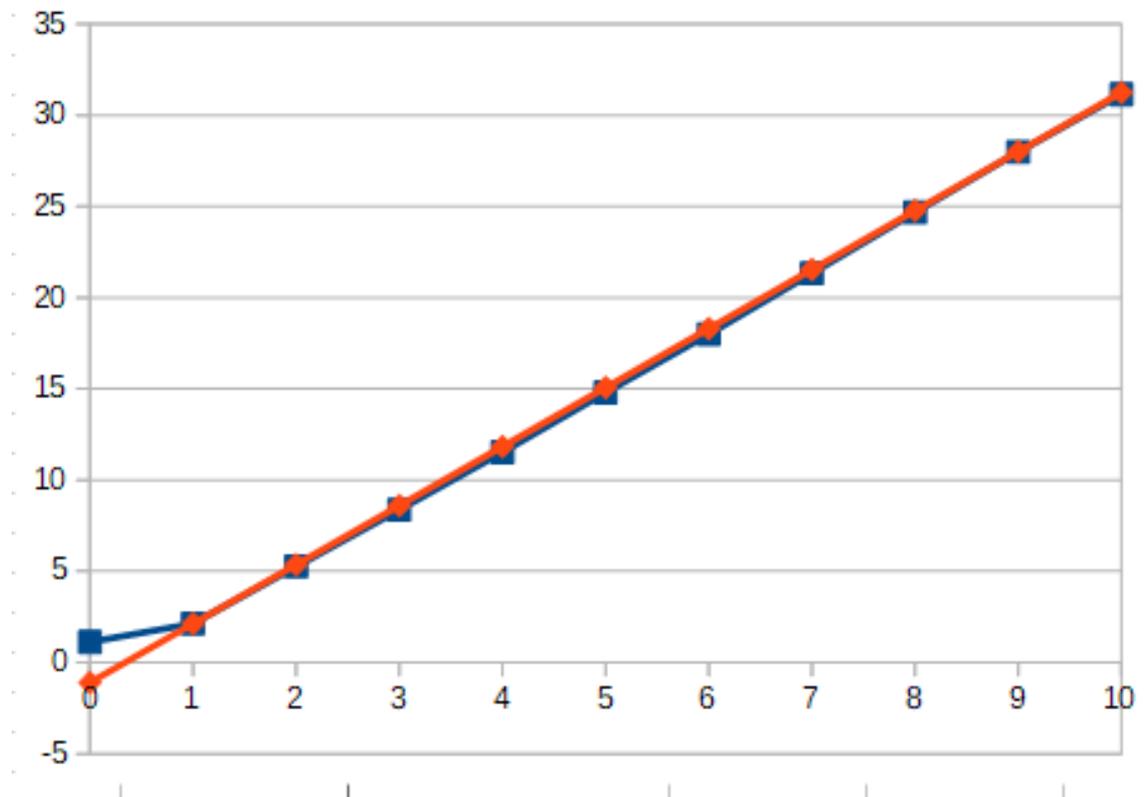


Figura 24 Levantamento do comportamento do sistema na forma gráfica

Azul: Frequência de rotação do motor ; Vermelho: Tensão aplicada.

OBS: O ponto azul fora da curva demonstra que a inversora possui um valor mínimo de acionamento. Portanto, mesmo que apliquemos um valor próximo de zero, o motor continua em movimento. Para o levantamento da curva este ponto foi desconsiderado.

O módulo de velocidade pode ser visualizado na **Figura 25**. Note que a fórmula foi inserida através das caixas de variáveis e módulos aritméticos. O intuito é possibilitar que o usuário alimente o programa com a frequência desejada ao invés da tensão à ser aplicada.

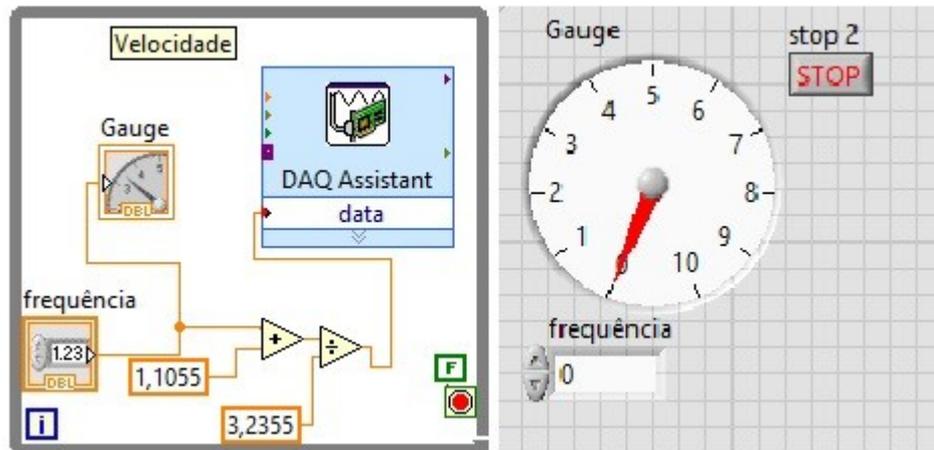


Figura 25 Módulo de velocidade

Neste módulo o *While Loop* pode ser pausado, através do botão STOP, sem que o restante do programa pare. O valor da frequência deve ser inserido na caixa de diálogo e após as operações aritméticas o valor final será inserido no pino analógico de saída do Elvis. O mostrador com ponteiro apenas foi posto para ilustrar o valor desejado de frequência, portanto é apenas ilustrativo.

No módulo de leitura de frequência do eixo do motor, como pode ser visto na **Figura 26**, utilizamos o DAQ de aquisição de frequência. Durante os testes percebemos que os dados de frequência possuíam alguns picos, estes picos foram filtrados com a utilização de um bloco que faz a mediana dos dados.

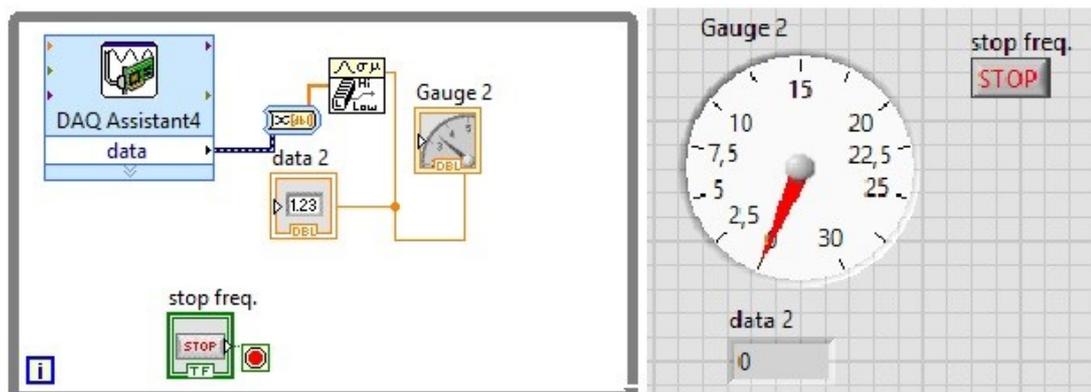


Figura 26 Módulo de leitura de frequência

Quando em funcionamento, a bancada apresenta quase o mesmo valor de frequência que foi alimentado no módulo de velocidade, com uma diferença apenas na segunda casa decimal. Para ilustrar o valor, foram postos um indicador decimal e um com ponteiro. O outro módulo que aparece é um conversor de *dynamic data* para

uma variável decimal. Assim como os outros módulos, este módulo está rodando dentro de um *While Loop*, que pode ser parado apertando o botão de STOP.

Como realizamos o levantamento do sistema inversora mais motor, a curva levantada gerou os coeficientes diretos da reta associada, sem levar em conta as características do motor.

Para conseguirmos levantar o número de polos do motor, foi necessário realizar o levantamento da frequência de acionamento e de giro do rotor. Quando inserimos uma frequência de acionamento de 60Hz no motor, percebemos que a frequência adquirida do rotor ficou em 30Hz. Sendo assim através da equação (4), constatamos que o motor em questão possui 4 polos.

$$N_p = (120 \times f_a) / (f \times 60) \quad (4)$$

N_p = N° de Polos do motor; f_a = frequência de acionamento; f = frequência de sincronismo

Sabendo quantos polos possui nosso motor, é possível calcularmos o valor do escorregamento dele através da equação (2) e para ilustrar o escorregamento em tempo real, foi criado mais um módulo de escorregamento em nosso programa, conforme a **figura 27**, onde já é possível inserir no programa o número de polos do motor, tornando-a mais genérica e passível de uso com outros motores.

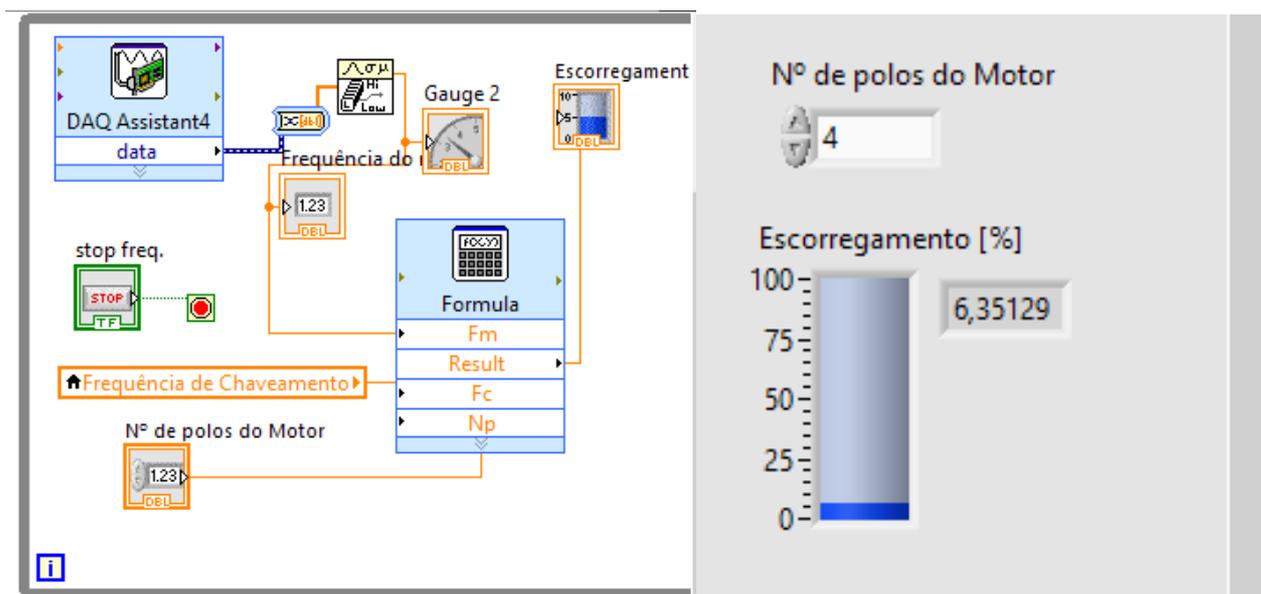


Figura 27 Módulo de escorregamento

No módulo de célula de carga conforme **figura 28** utilizamos um DAQ de aquisição de sinais analógicos e escolhemos, conforme já descrevemos no texto acima, a medida diferencial entre os pinos +A10 e -A10. Após a aquisição dos dados pelo módulo DAQ, multiplicamos os valores por 1000 (um mil), para darmos um ganho devido a baixa amplitude de variação causado pela deformação da célula de carga. Pode-se observar na **Figura 28** que existem três gráficos para indicar a deformação.

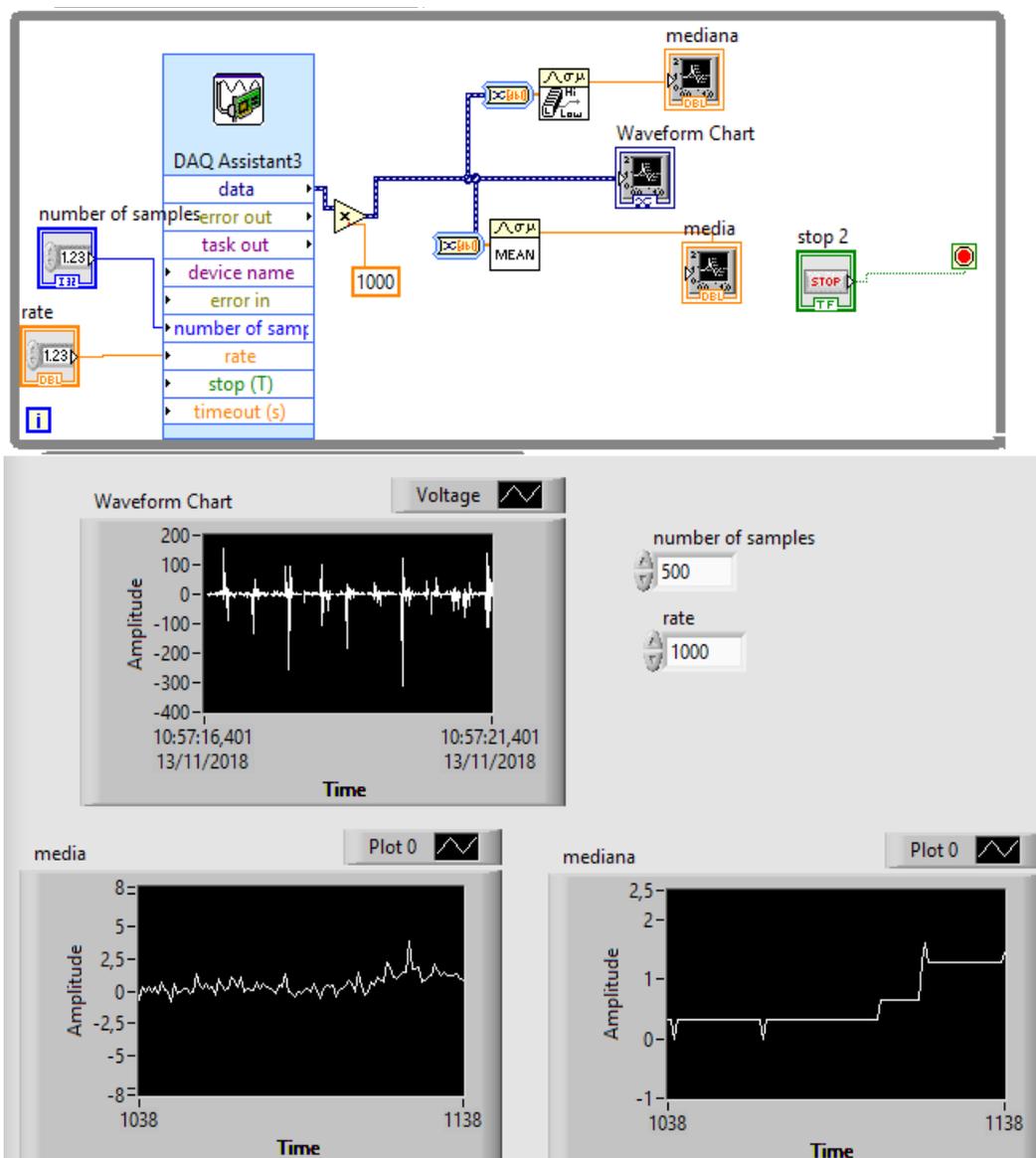


Figura 28 Módulo da célula de carga

O gráfico *Waveform* mostra os dados puros, apenas com o ganho, logo abaixo existem dois outros gráficos, um para *plotar* a média² dos dados e outro para a mediana³. O intuito é demonstrar as diferenças entre os sinais pré e pós processados.

Nas caixas de variáveis é possível alterar a frequência de amostragem e o número de amostras. E este módulo também está dentro de um *While Loop* e pode ser parado sem alterar os outros módulos.

Como já havíamos feito o programa e todas as ligações elétricas estavam prontas, realizamos alguns testes e obtivemos sucesso.0

Para realizar a ligação do freio, utilizamos uma fonte de corrente contínua conforme **Figura 29**, que varia manualmente de 0V à 190V.



Figura 29 Freio magnético

Esta alimentação é ligada diretamente nas bobinas do freio, **Figura 30**, que quando acionado, tende a dificultar o giro do motor.

2 Média: Corresponde a soma aritmética das amostras, dividida pelo número de amostras.

3 Mediana: Corresponde ao valor central de um conjunto de dados, representa um valor típico de comportamento.



Figura 30 Freio magnético

Como a célula de carga possui uma fixação direta no freio, **Figura 31**, enquanto o motor gira e o freio é acionado, a célula de carga sofre deformação. Essa deformação é plotada nos gráficos da **Figura 28**.

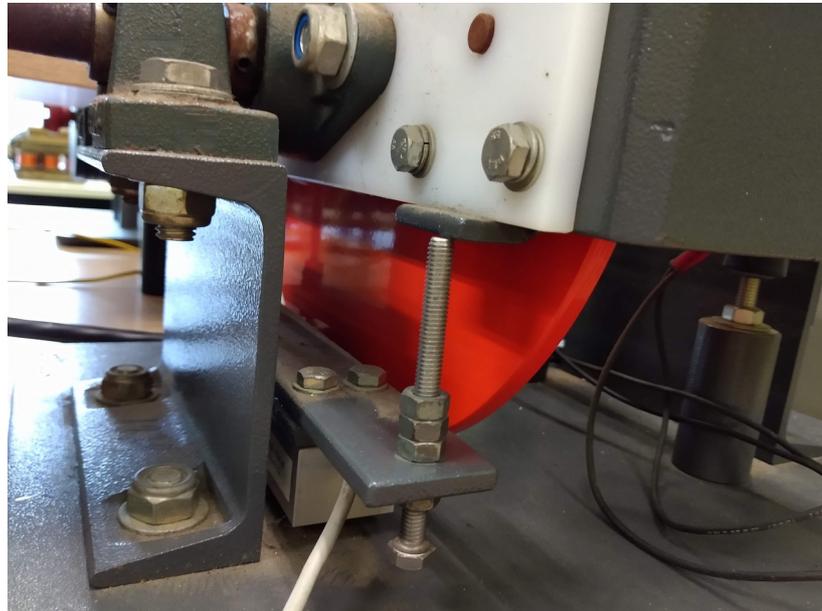


Figura 31 Fixação da célula de carga

Para realizar a junção do motor com um freio, foi utilizado um acoplamento dentado com proteção de borracha. O acoplamento serve para conectar dois eixos, que não necessitam estar completamente alinhados, ele consegue lidar com pequenas folgas e desalinhamentos, e a borracha serve como um amortecedor para vibração. O acoplamento pode ser melhor visualizado na **Figura 17**.

4. Resultados

Unindo os equipamentos disponíveis em nosso campus, foi possível criar esta ferramenta didática para o auxílio na elucidação das matérias. Objetivando aproximar a teoria da prática nela foi possível entender sobre as taxas de amostragem, condicionamento de sinais, sensores e atuadores, analisar escorregamento e variação de velocidade conforme carga aplicada.

Tendo em vista que a bancada se encontra funcional, os resultados obtidos foram muito bons e satisfatórios, pois conseguimos atingir a nossa meta de criar esta bancada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da montagem da bancada didática, pôde-se colocar em prática todo o conhecimento adquirido durante as aulas teóricas. O objetivo de criar uma ferramenta funcional que possa continuar sendo utilizada foi alcançado e estamos satisfeitos com o resultado.

A inclusão de sensores de corrente estava em nosso plano, mas como encontramos outras dificuldades, optamos por deixar a bancada funcional. Também existe a possibilidade da implementação de controle, com rampa de aceleração e desaceleração feita via software. A intenção de tornar o freio magnético automático também esteve presente.

Como não possuímos os pesos padrão para a calibração da célula de carga, ainda nos faltou esta calibragem, mas os dados da célula já estão sendo capturados, faltando apenas criar a equação de conversão via software.

Como o software e a bancada estão interligados e todos os módulos estão funcionais, qualquer atividade pode ser implementada, dependendo apenas de seus usuários.

Ainda não conseguimos cobrir todo o leque de possibilidades que a bancada pode proporcionar, mas já é um ponto de partida para diversos outros TCC que virão.

Como sugestão, pode-se realizar o levantamento da corrente por fase conforme acréscimo de carga, freio magnético; realizar o levantamento da deformação da célula de carga vs. Módulo do freio magnético; levantamento de outros motores de indução; inserção de métodos de controle baseados na realimentação da velocidade de giro; estudo do consumo de energia em partida de motor com e sem carga; velocidade de resposta de mecânica de motores de indução; métodos de acionamento automático do freio magnético.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Maquinas Elétricas, Fitzgerald & Kingsley's , 7th Edition ISBN 0073380466 / 9780073380469, tradução 2014.

Charles K. Alexander; Matthew N. O. Sadiku (2013). «Motores Elétricos e Acionamentos: Série Tekne. ISBN 978-85-8055-258-4.

Fundamentos de Máquinas Elétricas, Vicent Del Toro, 2014, 1º edição, 2014. ISBN 978-85-216-1184-4.

Máquinas de indução trifásica: teoria e exercícios; Gilio Aluisio Simone, 2ºed, 2010. ISBN 978-85-7194-708-5

Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos; Daniel W. Hart; Tradução: Romeu Abdo; Revisão técnica: Antônio Pertence Júnior ; 2012; ISBN978-85-8055-045-0

HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. Física 3, volume 2, 5 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 384 p.

Manual do usuário CFW08 Plus
<http://www.tecdriver.com.br/arquivos/CFW08%20V3,6X.pdf>