

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SÃO PAULO
CAMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Davi Ribeiro dos Santos
Marina Macedo Ferreira
Paulo Eduardo Gonçalves
Sabrina N.V. de Oliveira Ribeiro

Controle de Rotação de um motor CC

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São
Paulo – Campus São José dos Campos,
como requisito para obtenção do Título de
Técnico em Automação Industrial sob
orientação do Professor André Luiz
Mendes Moura e Co-orientação Engº
Danilo Eduardo Braga.

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) defendido e aprovado em
03 de dezembro de 2014, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profº. André Luiz Mendes Moura

.....

Orientador(a)

Engº Danilo Eduardo Braga

.....

Co-orientador(a)

Prof. Mateus Fernandes Réu Urban

.....

Dedicamos esse projeto aos nossos familiares,
orientadores e professores que nos ajudaram
na elaboração e conclusão de nosso projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus por nos proporcionar o dom da vida e a oportunidade de aprendizado ao longo deste curso.

Agradecemos aos nossos Pais e irmãos, marido e esposa, filho, amigos pelo apoio e compreensão pelos momentos de nossa ausência para que este projeto acontecesse.

Agradecemos em especial ao nosso orientador Prof^o. André Luiz Mendes Moura, ao nosso Co-orientador/Tecnico de Laboratório Danilo Braga, ao Técnico de Laboratorio Everson Olegário, aos professores Mateus Fernandes Réu Urban e Yull Heillordt Henao Roa.

“Se seus projetos forem para um ano, semeie o grão.
Se forem para dez anos, plante uma árvore.
Se forem para cem anos, eduque o povo.”

Jorge Chavez Dartnell Septiembre 1910

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
SUMÁRIO.....	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
• LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
2. OBJETIVO	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
4. MATERIAIS UTILIZADOS	16
• Placa de Circuito impresso de acionamento	23
5. Métodos	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	2
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.....	14
Tabela2.....	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema elétrico com a chave fechada.....	7
Figura 2 - Esquema elétrico com a chave aberta	7
Figura 3 - Vista do motor	9
Figura 4 - Representação da Estrutura (vista frontal)	10
Figura 5 - Representação da Estrutura (vista superior).....	10
Figura 6 - Imãs	11
Figura 7 – Rotor com Comutador	12
Figura 8 - Circuito de Aquisição de Dados	12
Figura 9 - Encoder	13
Figura 10 - Chapa de Fixação	13
Figura 11 - Acoplador de Metal	14
Figura 12 - Software Labview (Painel Frontal)	15
Figura 13-Software Labview (Diagrama de Blocos)	15
Figura 14-Placa de Circuito Impresso Baixa e Alta Potência	16
Figura 15-DAQ Configuração de Entrada	18
Figura 16- Configuração do bloco simulador de sinal.....	19
Figura 17-Configuração de Saída	19
Figura 18-Placa de Circuito Impresso Baixa e Alta Potência	20
Figura 19-Saída do Opto (VGs) com um D(Duty Cycle) equivalente a 30%.	21
Figura 20-Saída do DAQ com um D(Duty Cycle) equivalente a 30%	21
Figura 21-Entrada do motor (Vo) com um D(Duty Cycle) equivalente a 30%.	21
Figura 22-Saída do DAQ com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%.....	21
Figura 23-Saída do Opto (VGs) com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%	2
Figura 24-Entrada do motor (Vo) com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%.	2

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CC	Corrente contínua
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por largura de pulso)
I/O	<i>Input/Output</i> (Entrada/Saída)
V	Volts
GND	<i>Ground</i> (Terra)
MDF	<i>Medium Density Fibeboard</i> (Placa de Fibra Média Densidade)

RESUMO

Este projeto possui como foco central o controle de rotação de um motor de corrente contínua, a partir da variação do valor médio da tensão de alimentação, através de modulação por largura de pulso. O valor de velocidade é medido através de um encoder e exibido para o usuário. Para o acionamento do motor foi utilizado um conversor do tipo *chopper* e o algoritmo de controle foi desenvolvido em LabVIEW.

Palavras chave: controle de velocidade, motor CC, LabVIEW, conversor *chopper*.

ABSTRACT

This project has its central focus on the control of the rotation speed of a direct current motor, based on the variation of the medium value of the supply voltage, through the pulse width modulation (PWM) technique. The speed value is measured by an encoder and shown to the user. The motor drive used was a chopper DC-DC converter and the control algorithm was developed on Labview.

1.

KEY WORDS: speed control, DC motor, LabVIEW, chopper converter.

1. INTRODUÇÃO

Até meados dos anos 80, quando se falava de controle e variação de velocidade em motores, a associação aos motores de corrente contínua era imediata, pois até então a tecnologia de variação de velocidade para os motores assíncronos trifásicos estava praticamente iniciando-se com os conversores de frequência escalares, na época gigantescos armários elétricos caríssimos.

Os motores de corrente contínua são nos dias atuais, concebidos com as mais modernas tecnologias de projeto, resultando em máquinas compactas com excelentes propriedades dinâmicas, atendendo as mais diversas aplicações nas áreas de automação e controle de processos.

Para o seu funcionamento, utiliza-se energia elétrica e um campo magnético para produzir torque com a rotação do motor. Na sua forma mais simples, um motor de corrente contínua requer dois ímãs de polaridades opostas e uma bobina elétrica, que atua como um eletroímã. As forças eletromagnéticas repelentes e atraentes dos ímãs são responsáveis por fornecer o torque que faz com que o motor possa girar. Em alguns modelos se faz o uso de escovas de grafite ou cobre, fixas em sua carcaça interna, de modo que a corrente inverta seu sentido de percurso cada vez que seus pólos alcançam os pólos opostos do estator, assim aumentando sua eficiência, pois sua velocidade angular passa a ser constante.

O foco central do projeto é o motor, à partir dele é que foi desenvolvido todo o trabalho.

Esse projeto dá início pelo controle efetuado em LabView, onde o mesmo trabalha com a geração de dados e encaminhando a informação do projeto para o DAq, onde o mesmo faz uma converção Digital/Analógica e o mesmo envia o sinal de saída para o optoacoplador que chaveia o circuito *chopper*, este circuito atua no motor. O motor de acordo com sua rotação, rotaciona também o encoder que está acoplado em seu eixo. O encoder possui um circuito que envia seus pulsos novamente para o DAq. O DAq faz a conversão Analógica/Digital enviando assim os dados do encoder para a exibição dos dados no software.

Segundo Bayer e Araújo (2010) no sistema de malha aberta não existe informação de realimentação e é possível corrigir o sinal de entrada de forma a

alcançar um sinal de saída desejado.

Neste projeto foi utilizado um sistema de controle em malha aberta, uma vez que o motor é controlado pelo usuário através do software e o mesmo envia através de um circuito de geração de dados o valor de sua rotação. Este projeto só não funciona em controle em malha fechada porque não é o software quem faz o controle à partir dos dados adquiridos.

2. OBJETIVO

Realizar o controle de rotação de um motor de corrente continua através do valor médio da sua tensão de alimentação, usando da técnica variação da largura de pulso, ou seja, PWM(Pulse With Modulation). Porém, para se cumprir este objetivo, se fez necessário atingirmos objetivos secundários:

- O desenvolvimento de um circuito de acionamento do motor
- A utilização de um sensor do tipo encoder
- O desenvolvimento de um software de controle

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são brevemente abordados os aspectos teóricos dos principais componentes utilizados, começando pelo motor.

3.1. Motor de Corrente Contínua:

Segundo Honda (2006), as máquinas de corrente contínua “podem ser utilizadas tanto como motor quanto como gerador.” Porém ele destaca a desvantagem de ser necessária uma ponte retificadora

3.2. Motores CC - Aspectos construtivos

Um motor de corrente contínua é composto por duas partes principais: A armadura e o Estator.

Baseados nesses princípios, foi construído um motor pela equipe, cujos detalhes são apresentados no capítulo 4 deste trabalho.

3.3. Circuito de Geração de Dados

Em PWM(Pulse With Modulation) a frequência de operação é constante, pois pode variar o tempo que o interruptor esta conduzindo.

Para se obter os resultados esperados utilizou-se um opto-acoplador para chavear o circuito de potência *chopper*.

3.4. Acopladores ópticos

Segundo o datasheet da Vishay (2012) Os dispositivos de acoplamento são projetados para transmissão de sinal entre dois circuitos elétricos separados.

Neste projeto foi utilizado o opto-acoplador para que ele mantenha isolado o sinal de acionamento entre os dois circuitos, e por ter em suas características construtivas e funcionais, como agilidade de operação e alta durabilidade, comparado aos relés eletromecânicos.

3.5. Circuito de Potência

Existem varios circuitos conversores de potência. O conversor CC-CC pode ser conceituado como um sistema, formado por semicondutores de potencia operando como interruptores, e por elementos passivos, normalmente indutores e

capacitores, que tem por função controlar o fluxo de potência da fonte de entrada para fonte de saída .

Conversores Buck Abaixador de Tensão, Boost Elevador de Tensão, Buck-Boost acumulação indutiva, Chopper fatiador da tensão.

Utilizamos um circuito chopper, ele fatia a tensão com o uso do componente transistor mosfet, o componente mais importante, nesse circuito ele funciona como chave.

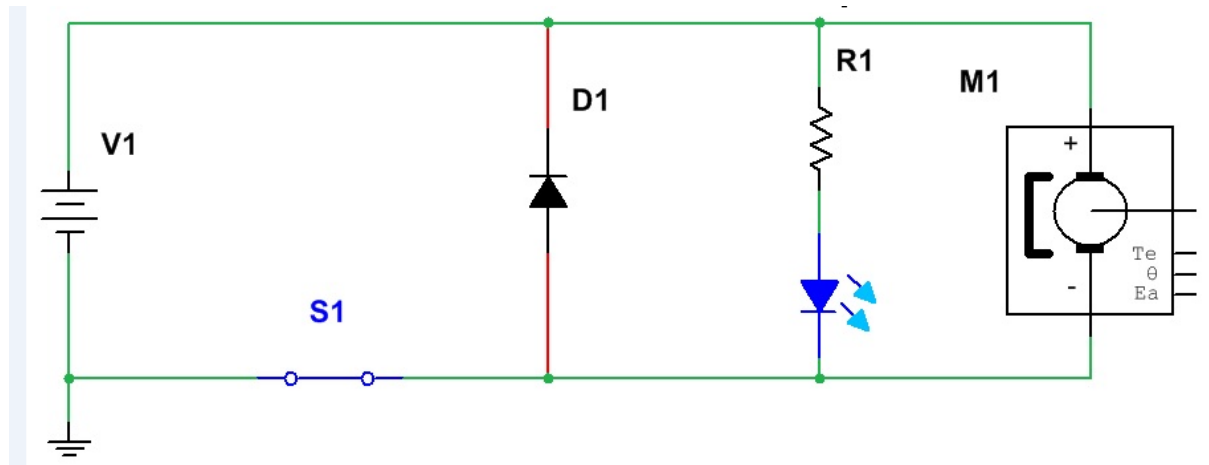


Figura 1 - Esquema elétrico com a chave fechada

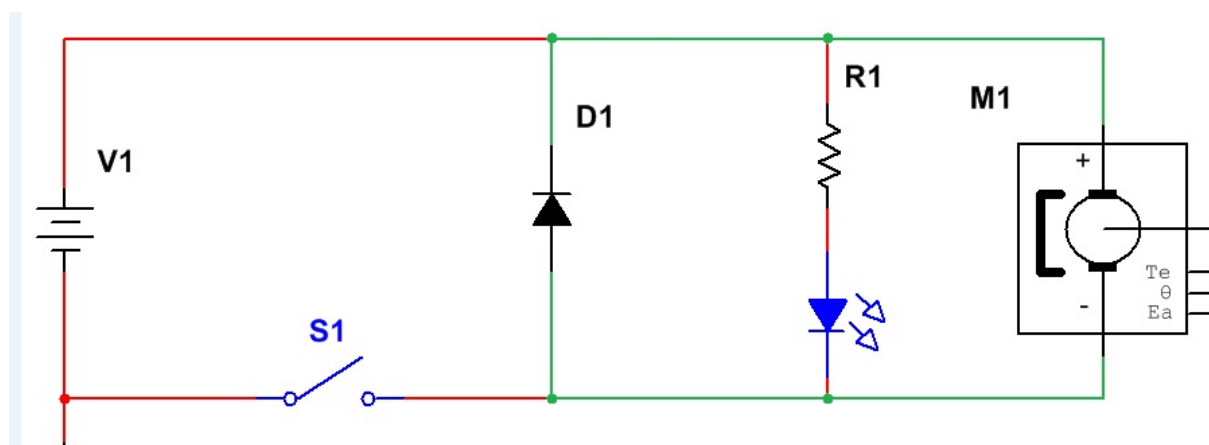


Figura 2 - Esquema elétrico com a chave aberta

3.6. Circuito de aquisição de dados

Segundo Braga, (2014) o controle de muitos equipamentos automatizados depende do conhecimento da posição de peças móveis com precisão.

Para adquirir os dados utilizou-se um encoder rotativo devido seu baixo custo, foi construído uma placa de circuito impresso com um resistor de pull-up e um capacitor como filtro.

3.7. Software de Desenvolvimento

Após as análises das necessidades decidiu-se utilizar o software Labview pois o mesmo atende todos os requisitos necessários para obter-se sucesso. Mesmo estando fora da nossa grade curricular ele se apresenta de forma didática e com os conhecimentos adquiridos em controle de processo, lógica de programação, eletrônica digital e analógica e interface de redes.

Segundo Oliveira (2012) a linguagem de programação utilizada recebe o nome de linguagem G, por se tratar de uma linguagem gráfica que utiliza blocos de funções. Todo VI é composto basicamente de duas partes fundamentais: o Painel Frontal e o Diagrama de Blocos.

4. MATERIAIS UTILIZADOS

- Motor

Na Figura 3 é mostrada uma vista do motor construído, onde também foi colocada uma régua milimetrada para se ter uma noção de tamanho.



Figura 3 - Vista do motor

A seguir, são mostradas em detalhes cada uma das partes que o compõe:

- Estrutura

A estrutura foi construída com MDF, pois é um material resistente e fácil de ser trabalhado. Sua base possui medidas de 20 cm de comprimento, 17.5 cm de largura e 1.5 cm de altura. As peças de suspensão do rotor, possuem medidas de 6.5 cm de comprimento, 5 cm de largura e 1.5 cm de altura. Conforme pode-se verificar nas Figuras 4 e 5.

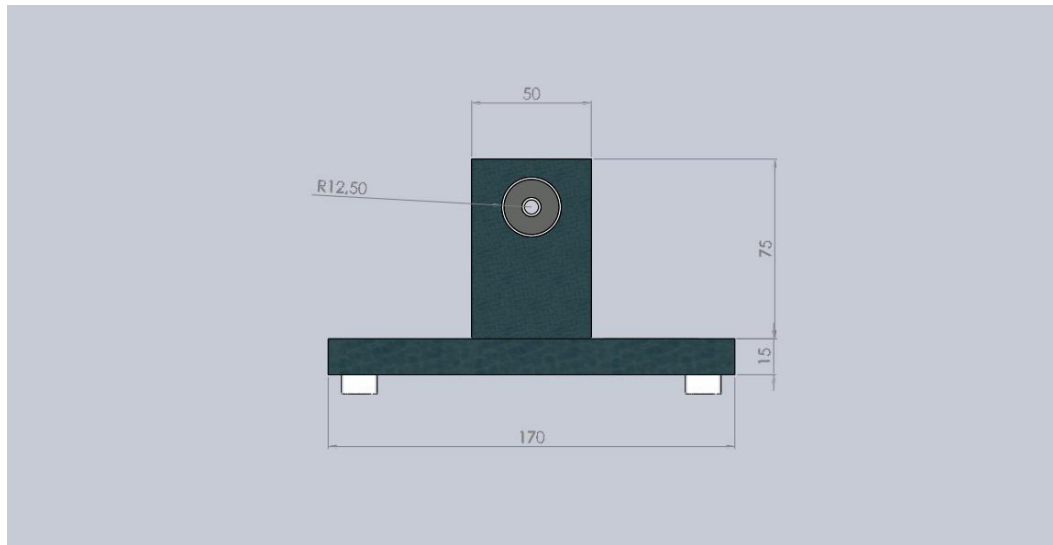


Figura 4 - Representação da Estrutura (vista frontal)

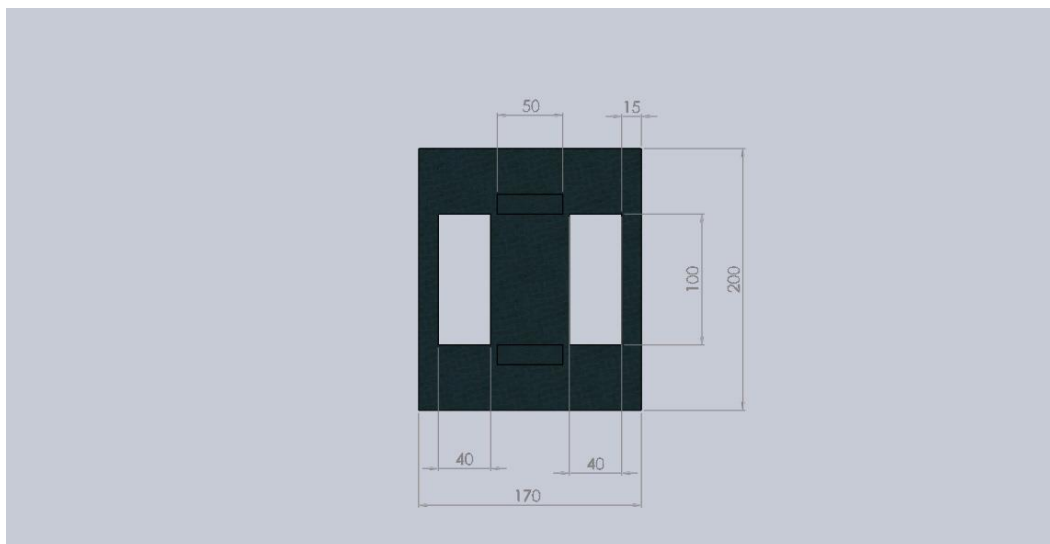


Figura 5 - Representação da Estrutura (vista superior)

- Ímãs retirados de Alto Falante

Para criar o campo magnético do estator, foram utilizados ímãs de alto falantes, mostrados na Figura 6. Estes ímãs foram escolhidos devido à facilidade para sua fixação na estrutura.



Figura 6 - Ímãs

- Rotor com comutador

Para a construção do rotor optou-se pelo reaproveitamento de um conjunto pronto, retirado de sucata. Este conjunto, mostrado na Figura 7, é composto pelo eixo (a) onde está fixado o núcleo (b), sobre o qual são enroladas as bobinas (c). Estas, por sua vez, tem seus terminais conectados ao comutador (d).

Também foram reaproveitadas as escovas e o porta escovas (e)

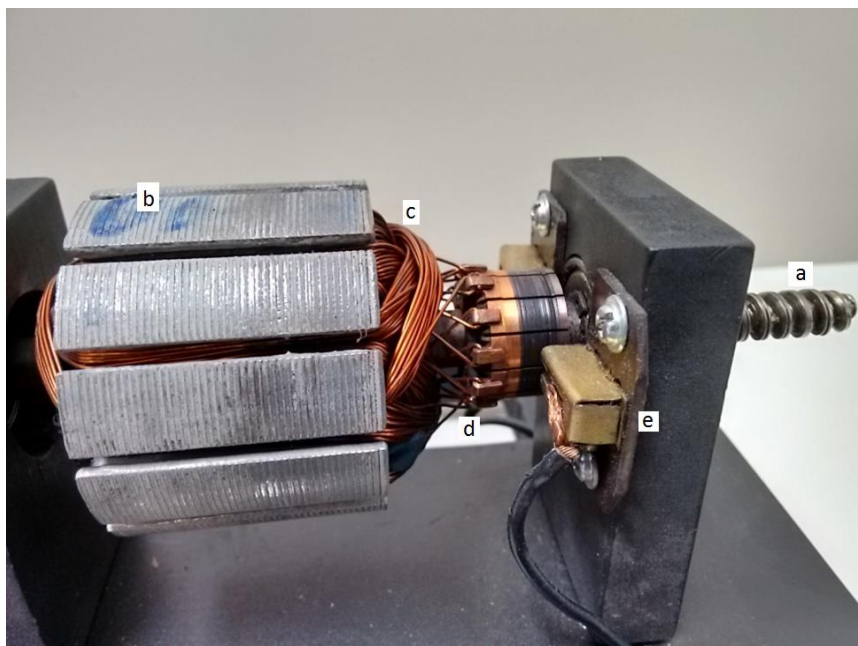


Figura 7 – Rotor com Comutador

- Circuito de aquisição de dados

Para se realizar a aquisição de dados foi desenvolvido um conjunto, que pode ser dividido em duas partes principais: A parte mecânica, responsável pela fixação, e a placa de circuito, que contém o sensor em um circuito de condicionamento de sinal. Na Figura 8 é mostrado o conjunto montado.

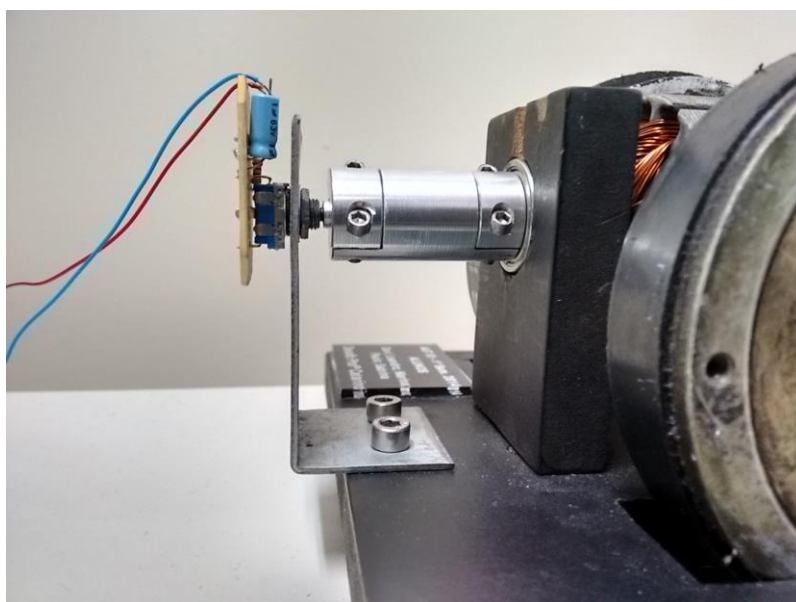


Figura 8 - Circuito de Aquisição de Dados

- Encoder

Sensor soldado em placa com resistor de pull-up, capacitor e conectores.

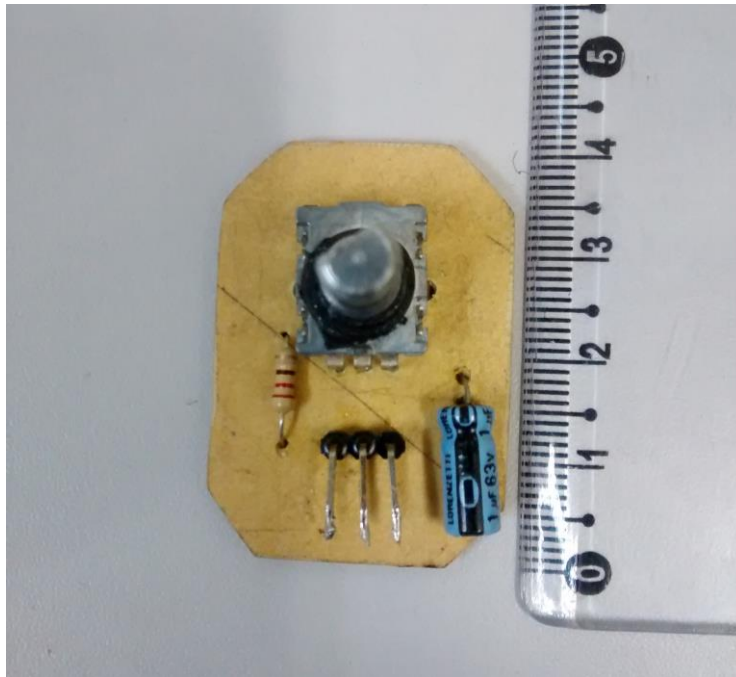


Figura 9 - Encoder

- Mecânica:

Para fixação do encoder foi utilizada uma chapa de metalon galvanizado em formato de “L”, mostrada na Figura 10.



Figura 10 - Chapa de Fixação

Já para realizar o acoplamento entre os eixos do encoder e do motor, foi usinada uma peça em alumínio, mostrada na Figura 11.



Figura 11 - Acoplador de Metal

Tabela 1

Lista de Materias para Circuito de aquisição de Dados	
Quantidade	Descrição do Material
1	Resistor de 220 Ω (pull up)
1	Capacitor de 1 μ F (filtro)

- Componentes adicionais: Foi utilizada uma Bateria Automotiva de 12V/45A como fonte de energia recarregavel.
- Para interface entre o computador e o sistema foi utilizada uma placa de aquisição de dados modelo DAQ - NI USB-6212. Desta placa foram utilizadas uma saída analógica (AO0), para enviar o sinal do PWM e uma entrada digital (PFI9), configurada como contador de pulsos, para receber os dados do encoder.
- Software Desenvolvido: Após o desenvolvimento do algoritmo, o painel frontal do software ficou com a seguinte configuração, conforme pode ser observado na Figura 12.

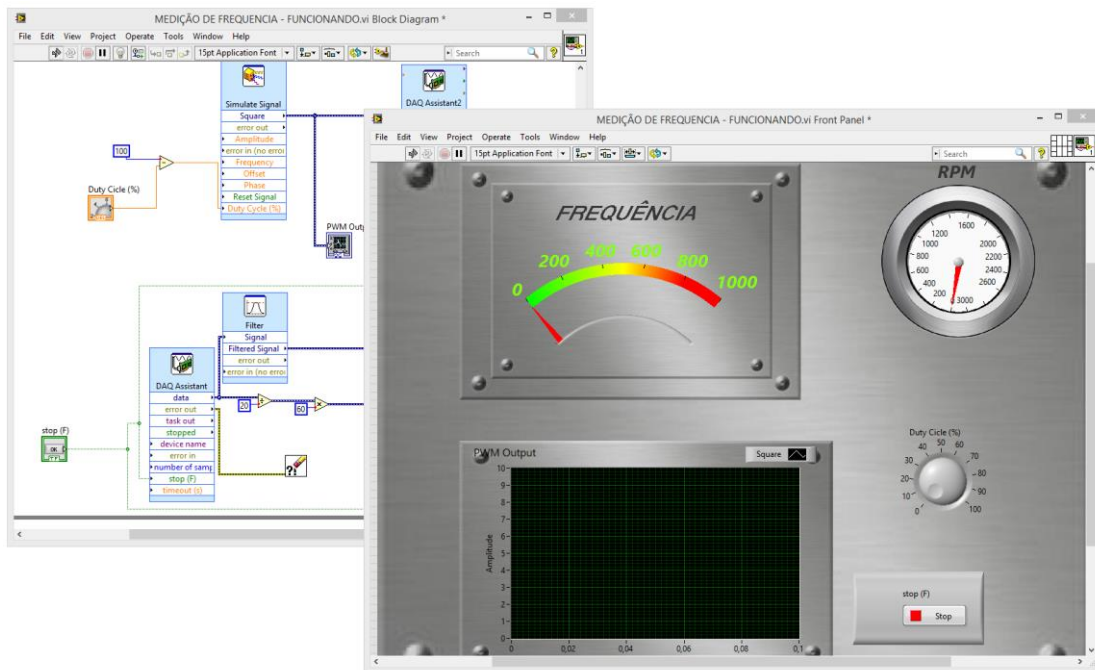


Figura 12 - Software Labview (Painel Frontal)

- Software Desenvolvido: Na Figura 13, ilustramos o diagrama de blocos.

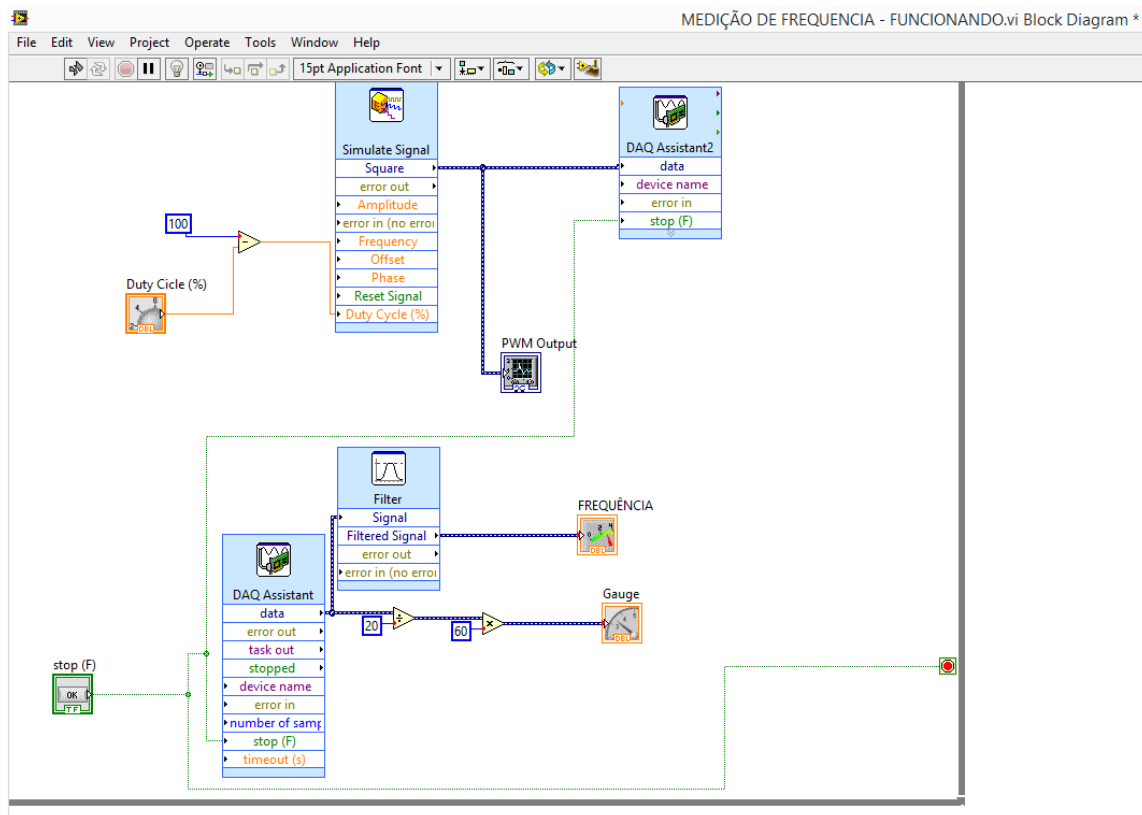


Figura 13-Software Labview (Diagrama de Blocos)

- Placa de Circuito impresso de acionamento

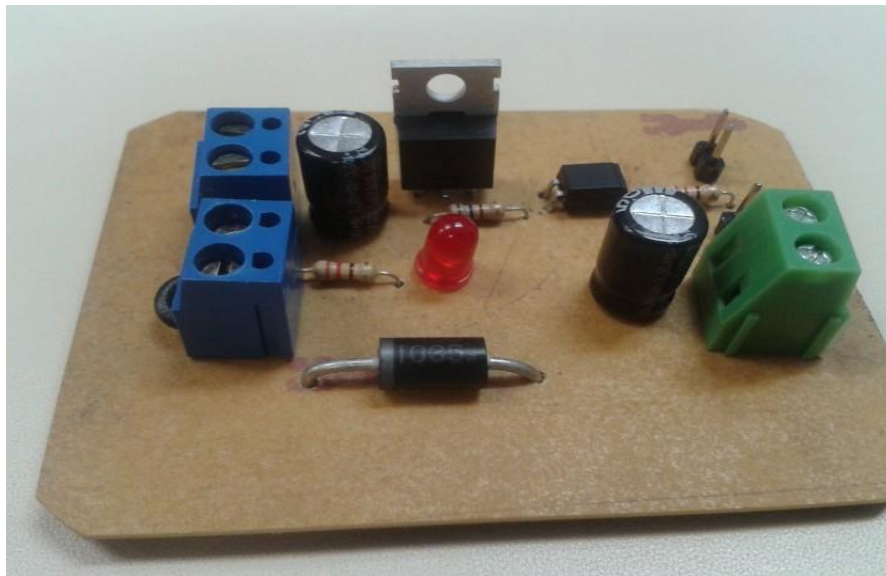


Figura 14-Placa de Circuito Impresso Baixa e Alta Potência

Tabela 2

Lista de Materias para Circuito de Potência e Comando	
Quantidade	Descrição do Material
1	Opto-acolpadorSFH617A
1	Resistor 560 Ω
2	Resistores 220 Ω
1	Led 5mm
1	Diodo MUR 460

5. Métodos

Contruiu-se um motor de corrente continua acerca de comprovar as forças do campo magnético. No entanto, afim de controlar a rotação do mesmo, iniciou-se o desenvolvimento do projeto.

Contruiu-se também o acoplamento para encoder rotativo, fez-se as primeiras leituras no osciloscópio, apenas com um alimentação em 5 Vcc e um resistor de 220Ω de pull-up, foram identificados muitos ruídos. Em um protoboard foi construído um circuito para filtrar esses ruídos existentes, adicionando um capacitor de $1\mu F$ ligado em paralelo com o encoder.

Após o circuito no protobord trazer os resultados esperados, passou-se então o mesmo para a placa de circuito impresso.

Começaram então os testes do circuito de geração de dados, pelo circuito de baixa potência em probord. Após testar o funcionamento do opto-acoplador com o auxílio do gerador de funções e um led, deu-se início a elaboração do circuito chopper, circuito de converção CC escolhido por ser mais apropriado para controle em PWM.

O opto-acoplador atua como chave na base do transistor, o qual ao receber os comandos atua como chave, alterando o tamanho dos pulsos, deixando ele mais tempo ligado que desligado, ou vise e versa. Isso acontece tão rápido que é imperceptível.

O transistor MOSFET foi escolhido para este projeto visando substituir relés, pois, relés são mecânicos, e como é necessário uma variação muito grande da chave, o mesmo acabaria sendo ineficiente.

Testo-se então o circuito completo, com o gerador de funções e leds, onde obteve-se o resultado esperado. Passou-se então o mesmo para a placa de circuito impresso.

Foi utilizado o software Labview 12 desenvolvido pela National Instruments, para a comunicação do circuito físico com o programa utilizou-se o DAQ NI USB-6212. Compatível com conexão USB, o mesmo com o propósito de gerar e adquirir dados.

Utilizou-se o DAQ Assistant com as configurações de entrada observadas na Figura 15 , e se fez necessário a inserção de um filtro no algoritmo, visando reduzir os ruídos do sinal.

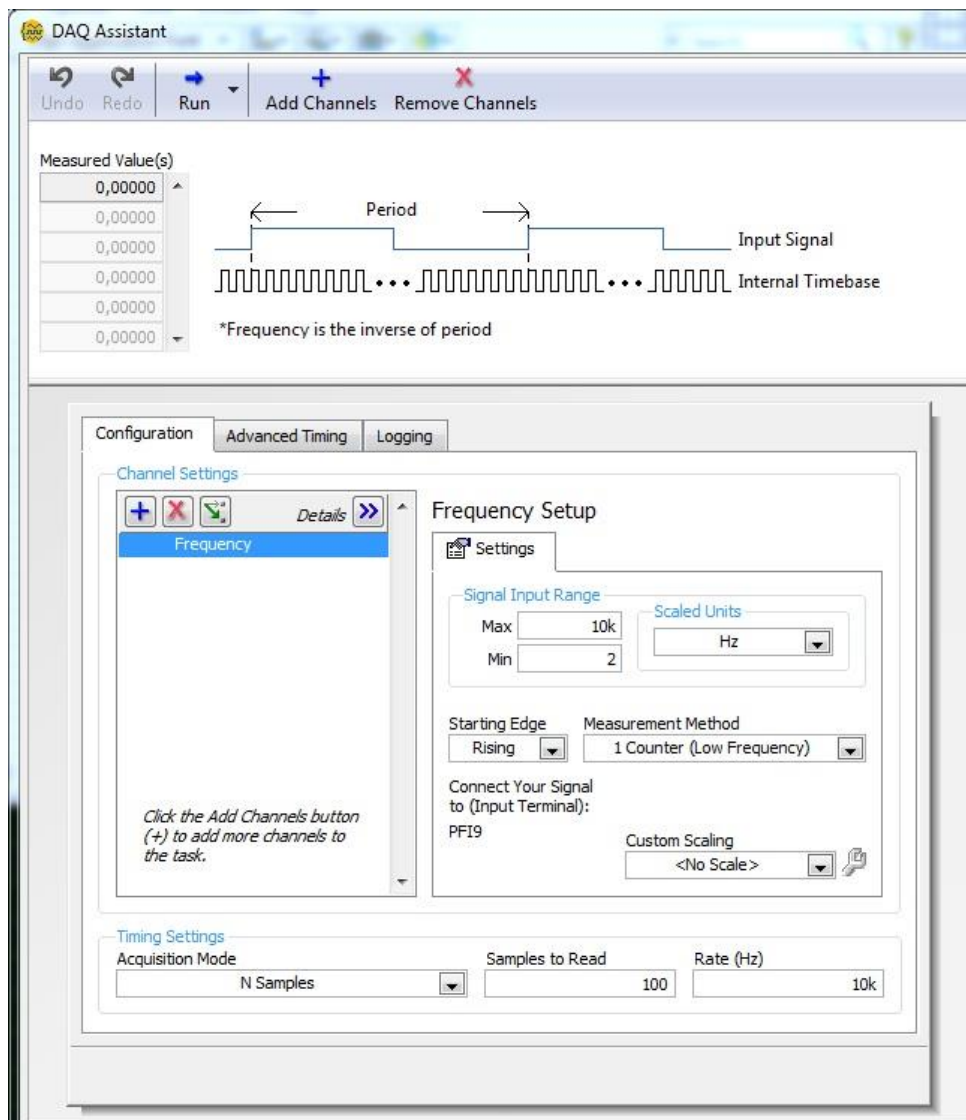


Figura 15-DAQ Configuração de Entrada

Para geração de dados utilizou-se a ferramenta Simulate Signal onde conseguimos alterar a largura do pulso com a variação do Duty Cycle e um DAQ Assistant configurado como saída ligado ao circuito de potência. Conforme a Figura 16 e 17.

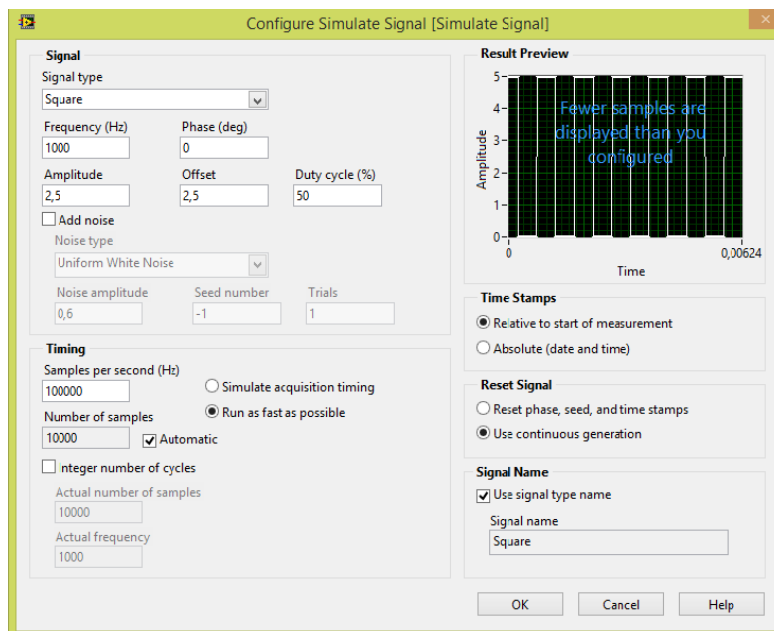


Figura 16- Configuração do bloco simulador de sinal

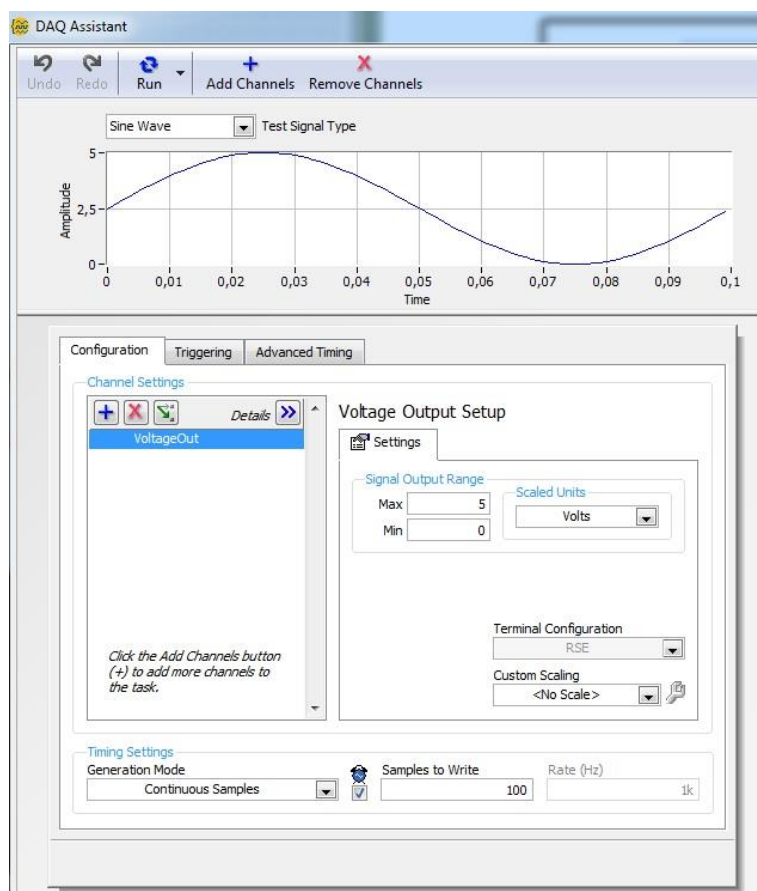


Figura 17-Configuração de Saída

Inicializou-se a confecção da placa eletrônica com o software Proteus, que proporcionou a construção do circuito da Figura 14.

Ao interligar o circuito de potência à porta analógica configurada como saída do DAq, não obteve-se o resultado esperado, pois, para que o opto-acoplador entre em operação é necessário uma corrente mínima de 20mA, contudo a saída analógica do DAq fornece somente 2mA. Neste caso foi necessário adicionar ao circuito de entrada do opto-acoplador um circuito darlington. Este é um circuito amplificador, onde o ganho da corrente é a multiplicação dos ganhos individuais.

Após imprimir o circuito e confeccionar a placa, foram feitos os testes de acionamento do motor. Foram coletadas as formas de onda para os duty cycles de 30% e 60%, mostrados no capítulo a seguir.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidas formas de ondas em medição nas saídas do opto-acoplador e do DAq.

Podemos observar em todos os casos que a saída do opto-acoplador é o inverso da saída do DAq, isso acontece devido a inserção do circuito darlington. Por essa razão foi necessário uma alteração no algoritmo de programação, mais especificamente foi feita a multiplicação por -100 no Duty Cicly, e isso o resultado das formas de onda da Figura 19.

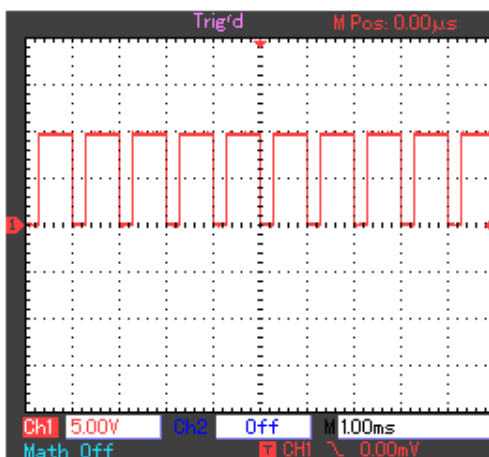


Figura 18-Saída do Opto (VGs) com um D(Duty Cycle) equivalente a 30%.

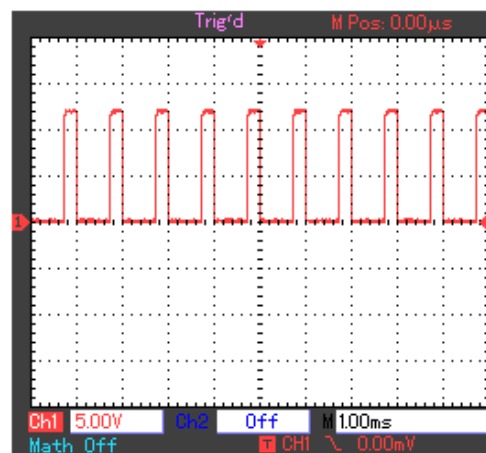


Figura 19-Saída do DAQ com um D(Duty Cycle) equivalente a 30% .

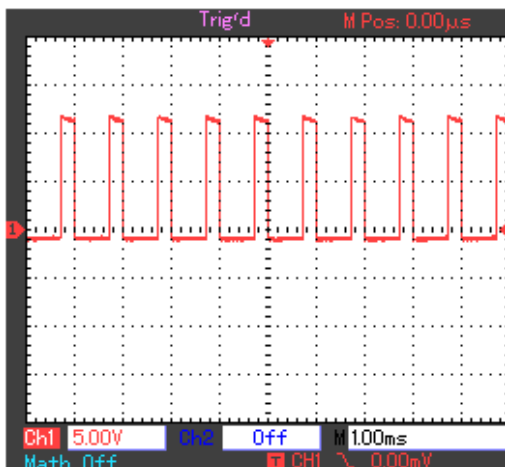


Figura 20-Entrada do motor (Vo) com um D(Duty Cycle) equivalente a 30%.

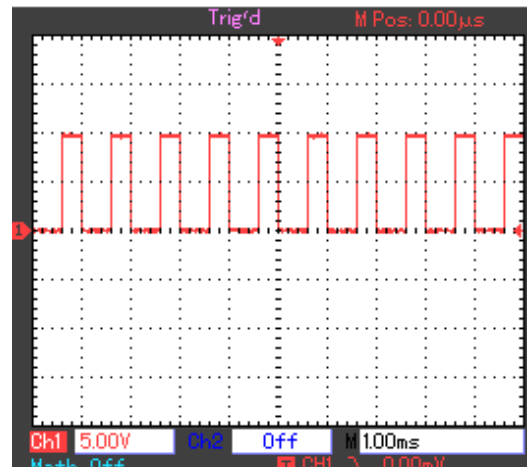


Figura 21-Saída do DAQ com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%.

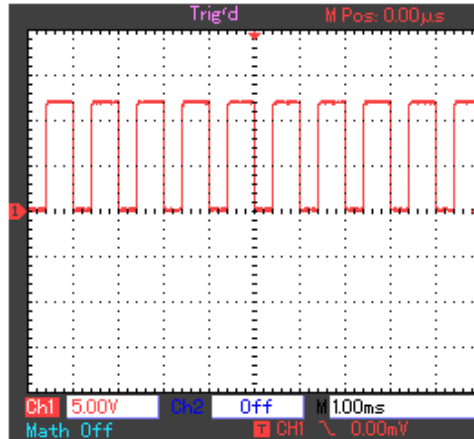


Figura 22-Saída do Opto (VGs) com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%

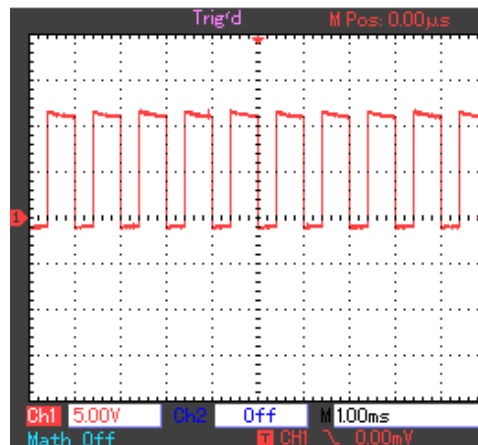


Figura 23-Entrada do motor (Vo) com um D(Duty Cycle) equivalente a 60%.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Foi apresentado neste trabalho o desenvolvimento de um sistema para o controle de velocidade de um motor de corrente contínua e o monitoramento de sua velocidade. Também foram apresentados os subsistemas desenvolvidos, tendo sido alcançados todos os objetivos propostos

O motor construído mostrou um funcionamento superior ao esperado, conseguindo trabalhar por vários minutos durante os testes.

O encoder utilizado apresentou um desempenho longe do ideal, porém sem chegar a comprometer os resultados. Dado o seu baixo custo e sua finalidade original não ser nesta faixa de velocidade, pode-se considerar satisfatório, porém caso se deseje fazer o controle em malha fechada, deverá ser avaliado outro sensor.

O circuito de acionamento foi construído de forma a ser reutilizável como conversor buck, com a entrada compatível com TTL, porém a saída analógica da placa de aquisição de dados não é, o que fez necessário a utilização dos transistores para acionar o opto-acoplador.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se:

- O fechamento da malha de controle;
- A aplicação de carga no eixo do motor tendo como finalidade analisar e comprovar a funcionalidade que não haverá perda de rotação e torque quando aplicada. Pode-se também implementar a reversão do sentido de rotação do motor, fazendo algumas alterações no circuito de acionamento e no software de controle.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 1. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_1.pdf. Acesso em: 05 agosto 2014.

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 10. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_10.pdf. Acesso em: 08 agosto 2014.

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 19. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_19.pdf. Acesso em: 10 agosto 2014.

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 21. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_21.pdf. Acesso em: 14 agosto 2014.

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 22. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_22.pdf. Acesso em: 14 agosto 2014.

UTFPR. Disciplina de Eletrônica de Potência – ET66B. Aula 24. Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/arquivos/eletr_pot1_24.pdf. Acesso em: 20 agosto 2014.

VISHAY SEMICONDUCTORS. OPTO-ACOPLADOR: SFH617A. Disponível em: <http://www.vishay.com/docs/91036/91036.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2014.

OLIVEIRA, J. C.; PINTO, V.P.; ALBUQUERQUE, H. F.; ALMEIDA, R. N. C.; CORREIA, W. B. Desenvolvimento de Práticas de Laboratório de Controle Dinâmico Utilizando o LabView®. XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE). BELÉM – PA – Setembro, 2012. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobengeanteriores/2012/artigos/104271.pdf>. Acesso em: 22 outubro de 2014.

<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5454-mec128>
Acesso: 08/12/2014 15:22