

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ**

**Sistema Hardware In The Loop Para Teste
Dinâmico de Alternadores Automotivos**

CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ

Sistema Hardware In The Loop Para Teste
Dinâmico de Alternadores Automotivos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Fatec Santo André como exigência para a obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Curso: Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

Aluno: Homero de Oliveira

Santo André

2017

O482s

Oliveira, Homero de

Sistema hardware in the loop para teste dinâmico de alternadores automotivos / Homero de Oliveira. - Santo André, 2017. – 46f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani

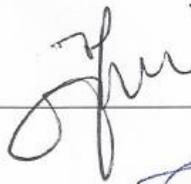
1. Eletrônica embarcada automotiva. 2. Veículo. 3. Segurança.
4. Alternadores. 5. Software. 6. Teste. I. Sistema hardware in the
loop para teste dinâmico de alternadores automotivos.

621.389

LISTA DE PRESENÇA

Santo André , 19 de Dezembro de 2017

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: SISTEMA
HARDWARE IN THE LOOP PARA TESTE DINÂMICO DE
ALTERNADORES AUTOMOTIVOS”. DO ALUNO DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCAPRESIDENTE:
PROF. EDSON CAORU KITANIMEMBROS:
PROF. FABIO DELATORE

PROF. FERNANDO GARUP DALBO

**ALUNO:**

HOMERO DE OLIVEIRA



AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores da Fatec Santo André, meus amigos, e meu orientador Prof. Dr. Edson Caoru Kitani, por esses anos de aprendizado e conhecimentos valiosos. Agradeço também o aluno Thiago Duarte Brasil, pela sua contribuição no desenvolvimento do software.

RESUMO

Com o advento da eletrônica embarcada em veículos devido, primeiramente, a necessidade de atender a legislações de emissões e de aumentar a eficiência dos veículos e mais recentemente a itens de conforto, segurança, conveniência e entretenimento, fez com a demanda energética em veículos aumentasse. O principal componente do sistema de energia elétrica do veículo é o alternador, com isso seu estudo e compreensão é extremamente necessário para o desenvolvimento de sistemas embarcados nos veículos. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de teste para o alternador, na qual o usuário pode realizar testes tais: como medir a tensão e corrente nominal do alternador e simular condições da carga imposta ao alternador através de uma carga eletrônica e a rotação do eixo do alternador, que será suprida por um motor de indução que tem sua rotação controlada por um inversor de frequência. O controle dessas condições será realizado através de uma VI desenvolvida em *Labview*, sendo utilizada uma interface DAQ para controle do inversor e carga.

Palavras-Chaves: Alternador, Eletrônica embarcada, Bancada de testes, Eletrônica Automotiva.

ABSTRACT

With the advent of on-board electronics in vehicles due, first, to the need to attend emissions regulations and increase vehicle efficiency, and more recently to items of comfort, safety, convenience, and entertainment, has made energy demand for vehicles increase. The main component of the electric power system of the vehicle is the alternator, thereby the study and understanding of it is extremely necessary for the development of embedded systems in the vehicles. The present work aims to develop a test bench for the alternator, where the user can perform tests such as: measuring the rated voltage and current of the alternator and simulate conditions of the load imposed on the alternator through transistors, and the available rotation in the alternator, which will be supplied by an induction motor which has its rotation controlled by a frequency inverter. The control of these conditions will be accomplished through a VI developed in Labview, using a DAQ interface for control of the inverter and load.

Keywords: Alternator, On-board electronics, Test bench, Automotive electronics.

Lista de Figuras.

Figura 1: Alternador em corte.	12
Figura 2: Rotor.....	13
Figura 3: Estator.....	14
Figura 4: Circuito Retificador.....	15
Figura 5: Sinal Trifásico Gerado pelo Alternador.....	16
Figura 6: Correntes que conduzem através dos diodos.	16
Figura 7: Sinal Retificado.	17
Figura 8: Esquema ponte retificadora.	18
Figura 9: Circuito Regulador.....	19
Figura 10: Circuito Regulador durante a partida.....	20
Figura 11: Circuito Regulador de Tensão durante funcionamento nominal.....	21
Figura 12: Circuito Regulador de Tensão durante sobre tensão.	22
Figura 13: Diagrama do projeto.....	23
Figura 14: Amplificador Resistor de Shunt	24
Figura 15: Circuito Divisor de Tensão	25
Figura 16: Driver de controle.	25
Figura 17: Driver de Potência.....	26
Figura 18: Resultado dos testes de aquecimento dos transistores.	27
Figura 19: Curva do transistor MJ802.	28
Figura 20: Conjunto de transistores instalados no dissipador.	28
Figura 21: Esquema sistema de arrefecimento.	29
Figura 22: Sistema de arrefecimento.	30
Figura 23: Sistema de controle da frequência do inversor.....	32
Figura 24: Banca de testes.....	33
Figura 25: Croqui da Interface de usuário.	34
Figura 26: Interface de Controle Manual.	36
Figura 27: Interface Controle Automático.....	37
Figura 29: Diagrama de blocos modo automático.	38
Figura 28: Diagrama de blocos do modo manual.....	38
Figura 30: Resposta de carga real contra carga imposta ao alternador.....	41
Figura 31: Rotação imposta ao alternador.	41
Figura 32: Tensão gerada pelo alternador.	42

Lista de Tabelas.

Tabela 1: Fases que conduzem.	17
Tabela 2: Configuração parâmetro P235.	31
Tabela 3: Configuração ganho do inversor.	31
Tabela 4: Características Amperímetro da bancada de testes.	34
Tabela 5: Dados do motor.	35
Tabela 6: Teste 1.	39
Tabela 7: Valores de carga e rotação imposta por testes.	40

Lista de abreviações e siglas.

ABS	Anti Brake System
AMB	Temperatura ambiente de trabalho.
AFS	Valor de corrente com o fator de serviço
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
Dz	Diodo Zener
FS	Fator de serviço.
f	Frequência
FMM	Força Magneto Motriz
I_{Cmax}	Corrente de coletor máxima
IP	Índice de proteção do motor
I_p	Corrente de partida
I_n	Corrente nominal
RPM	Rotação por minuto
SubVI	Uma VI chamada a partir do diagrama de blocos de outra VI
VI	diagrama de blocos principal
V_{CEmax}	Tensão entre coletor e emissor máxima.

Sumário

1	Introdução.....	9
1.1	Apresentação do Trabalho.....	9
1.2	Justificativa.....	9
1.3	Objetivos.....	9
1.4	Organizações do Trabalho.....	10
2	Revisão Bibliografia.....	11
2.1	Alternador.....	11
2.1.1	Máquinas Síncronas.....	11
2.2	Componentes básicos do Alternador.....	12
2.2.1	Rotor.....	12
2.2.2	Estator.....	13
2.3	Conjunto Retificador.....	14
2.3.1	Regulador de tensão.....	18
2.4	Análise do circuito regulador.....	19
2.5	Inversor de frequência.....	22
3	Metodologia do Trabalho.....	23
3.1	Driver de Controle.....	23
3.2	Driver de Potência.....	26
3.3	Escolha do Transistor.....	26
3.4	Sistema de Arrefecimento.....	28
3.4.1	Sistema de controle de frequência do inversor.....	32
3.5	Montagem Mecânica.....	33
3.5.1	Acoplamento mecânico.....	34
3.6	Software de controle.....	35
3.6.1	Bloco de Diagramas.....	37
4	Resultados.....	39
4.1	Teste inicial.....	39
4.2	Resposta a carga imposta.....	40
5	Conclusão.....	43
5.1	Propostas futuras.....	43
6	Bibliografia.....	44

1 Introdução

1.1 Apresentação do Trabalho

Com o avanço da eletrônica nos automóveis a demanda de carga elétrica aumentou consideravelmente em relação a veículos antigos, isto se dá pelo aumento de consumidores elétricos no veículo tais como, unidades de gerenciamento (Motor, ABS, Cambio), itens de conforto e segurança (Vidro elétrico, Central de infotenimento, Climatização). O componente responsável por fornecer essa energia, após a partida do motor e recarregar a bateria é o alternador. O alternador tem que manter a tensão dentro da especificada e fornece energia independentemente da rotação do motor e da solicitação de carga elétrica, sendo assim um componente muito importante para os veículos modernos.

1.2 Justificativa

Tendo em vista a importância do sistema do alternador para o veículo, é importante desenvolver um sistema que simule o sistema do alternador de forma rápida, segura e desacoplado do veículo, para que o mesmo seja usado para pesquisas acadêmicas e fins didáticos na disciplina de Carga e Partida do curso de eletrônica automotiva da FATEC Santo André.

1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de *hardware in the loop* para testes do alternador automotivo. Este sistema será capaz de realizar as seguintes funções: controlar a rotação do eixo do alternador, controlar a demanda de carga imposta ao alternador. Realizará a leitura dos seguintes parâmetros: rotação do alternador, tensão nominal e corrente nominal do alternador, além de desenvolver uma carga eletrônica de até 1200W de potência.

1.4 Organizações do Trabalho

O presente trabalho se organiza da seguinte maneira. No capítulo 2 é apresentado uma breve revisão de conceitos relativos ao trabalho. No capítulo 3 é discutido a metodologia utilizada no trabalho, como os circuitos e *softwares* desenvolvidos e adaptações mecânicas. O capítulo 4 discute os resultados obtidos pelo trabalho. E finalmente o capítulo 5 conclui o presente trabalho.

2 Revisão Bibliografia

Nesta secção serão introduzidos os conceitos básicos necessários para a compreensão do trabalho desenvolvido, sendo revisados os conceitos de máquina elétricas, circuitos eletrônicos do alternador e inversor de frequência.

2.1 Alternador

Alternador automotivo é um gerador trifásico sendo também considerado como uma máquina síncrona. Nesta secção faremos uma breve revisão dos componentes e princípio de funcionamento das máquinas síncronas com ênfase em geradores trifásicos.

2.1.1 Máquinas Síncronas.

Máquinas CA síncronas se caracterizam pela corrente do enrolamento de campo ser fornecida por anéis coletores em contato com as escovas estacionárias de carvão que estão localizadas no corpo da máquina.

A corrente CC que circula pelo enrolamento de campo é responsável por produzir o campo magnético que será induzido no enrolamento de armadura. No caso do alternador automotivo o enrolamento de campo está localizado no rotor, que está acoplado ao eixo do motor de combustão interna por meio de uma correia e polias com uma relação de 2.1.

O campo magnético variável pelo movimento do rotor induz no enrolamento de armadura uma corrente elétrica senoidal, aonde a frequência é proporcional a velocidade do rotor e ao número de polos do rotor pela equação abaixo.

$$f = \left(\frac{\text{polos}}{2}\right)\left(\frac{n}{60}\right)\text{Hz}$$

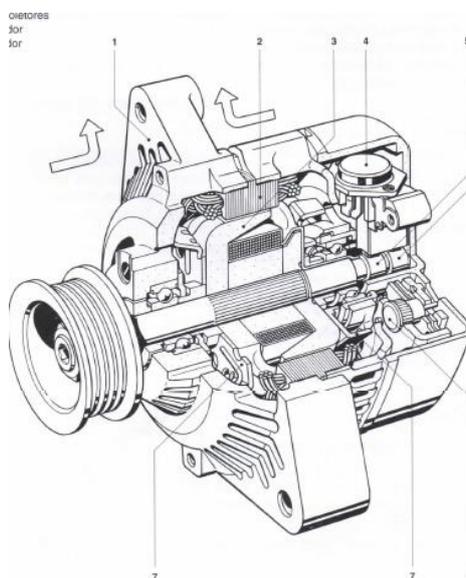
Na qual f representa a frequência elétrica da corrente e tensão gerada, n representa a velocidade mecânica e polos o número de polos do enrolamento de campo.

A tensão eficaz gerada por fase em um enrolamento concentrado tendo N_{fase} espiras é dado por.

$$E = \sqrt{2} \pi f N_{fase} \phi$$

Onde f é a frequência e ϕ é o fluxo fundamental por polo (FITZGERALD, 2014).

Figura 1: Alternador em corte.



Fonte: Extraído (Robert Bosch GmbH, 1998).

2.2 Componentes básicos do Alternador

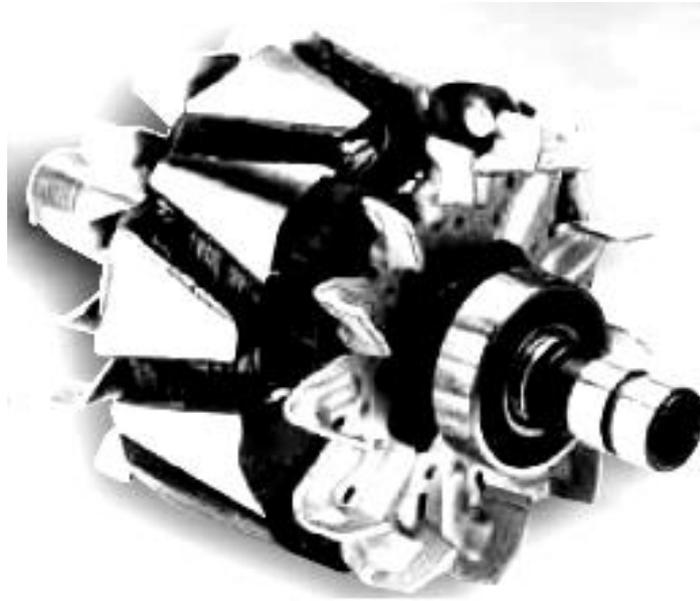
Um alternador é composto de vários subconjuntos mecânicos, elétricos e eletrônicos. As seções a seguir descrevem os subconjuntos básicos para que se compreenda melhor o funcionamento deste dispositivo.

2.2.1 Rotor

É nesse componente que começa a produção de energia elétrica. Ele é formado por um eixo de aço que tem fixado sobre ele uma bobina de fios de cobre envolvido por um par de rodas polares. Na extremidade de um dos lados do eixo estão fixados dois anéis coletores que são ligados ao enrolamento de campo. Solidário às rodas polares existem duas ventoinhas para refrigeração. Como explicado na seção de máquinas síncronas, uma tensão contínua é aplicada ao enrolamento de campo, no caso do alternador esta tensão é fornecida pela bateria do veículo. A passagem dessa corrente pela bobina gera um campo magnético em torno dela. Quando o rotor, que está acoplado ao eixo

do motor de combustão, começa a girar ele produz uma variação do campo magnético e induz uma corrente no enrolamento do estator do alternador.

Figura 2: Rotor.

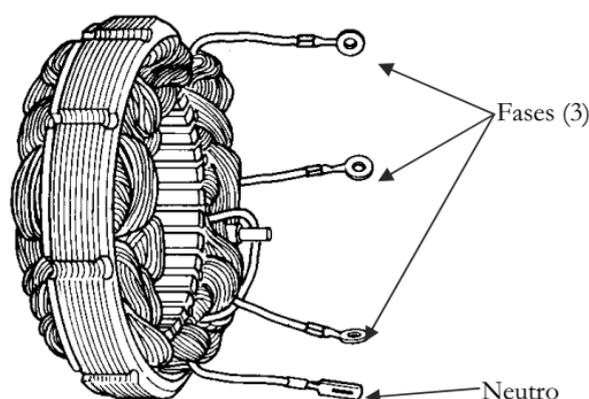


Fonte: Extraído de (Robert Bosch GmbH, 2009).

2.2.2 Estator

O estator em um alternador é o componente que abriga o enrolamento e é formado por bobinas de fio de cobre. A tensão induzida pelo enrolamento da bobina de campo produz uma tensão em cada uma das fases do alternador, na qual cada fase do alternador está defasada em 120° . Assim, a tensão induzida em cada fase também está defasada em 120° . O número de bobinas depende do número de pares de polo do rotor. Para alternadores trifásicos o número de bobinas é o triplo do número de pares de polo do rotor (ALVES & LOURENÇO, 2009).

Figura 3: Estator.



Fonte: Retirado de (ALVES , et al., 2009).

O número de pares de polos do rotor garante que todas as bobinas recebam ao mesmo tempo uma força eletromotriz de mesma intensidade, sendo assim é possível ligá-las em série, formando um único enrolamento. Esses enrolamentos são montados no núcleo com uma sobreposição entre elas, essa sobreposição faz com que a tensão induzida em cada bobina esteja com as defasagens definidas.

Esses enrolamentos podem ser montados em dois tipos de conexão:

Conexão estrela. Tensão do alternador U e tensão de fase U_P (tensão parcial) diferenciam-se pelo fator $\sqrt{3}$. A corrente I do alternador é igual à corrente de fase I_P .

$$U = U_P * \sqrt{3} * I = I_P \text{ (eq. 1)}$$

Conexão triângulo. Tensão do alternador U é igual a tensão de fase U_P . A corrente do alternador I e a corrente de fase I_P diferenciam-se pelo fator $\sqrt{3}$.

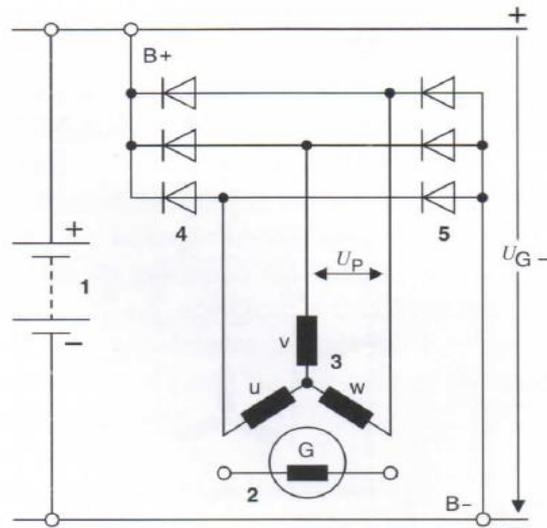
$$U = U_P * I = I_P * \sqrt{3} \text{ (eq. 2)}$$

2.3 Conjunto Retificador

O alternador gera tensão e corrente alternada, que não é adequada para se carregar à bateria e alimentar os consumidores elétricos de um veículo. Para resolver esse problema a tensão e corrente gerada pelo alternador são retificadas por um circuito retificador trifásico do tipo ponte de onda completa. A figura 4 ilustra um retificador normalmente empregado para o alternador. Em um retificador trifásico a corrente é fornecida em intervalos de 60° por apenas 2 das

3 fases, sendo que somente as duas fases que tem os maiores módulos de tensões conduzirão.

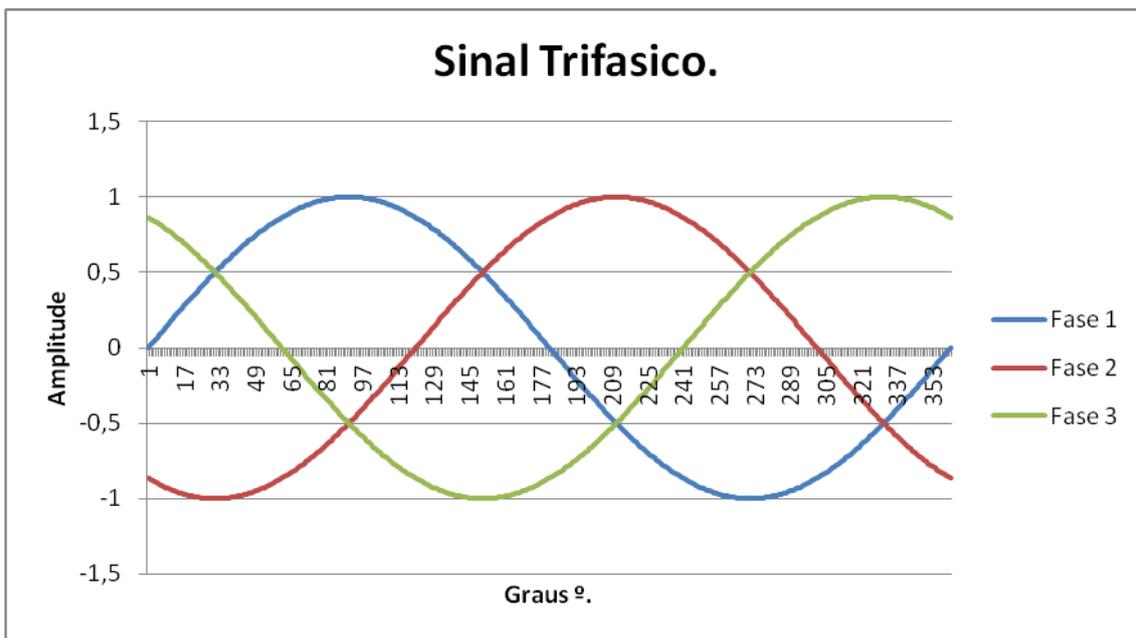
Figura 4: Circuito Retificador.



Fonte: (Robert Bosch GmbH, 1998).

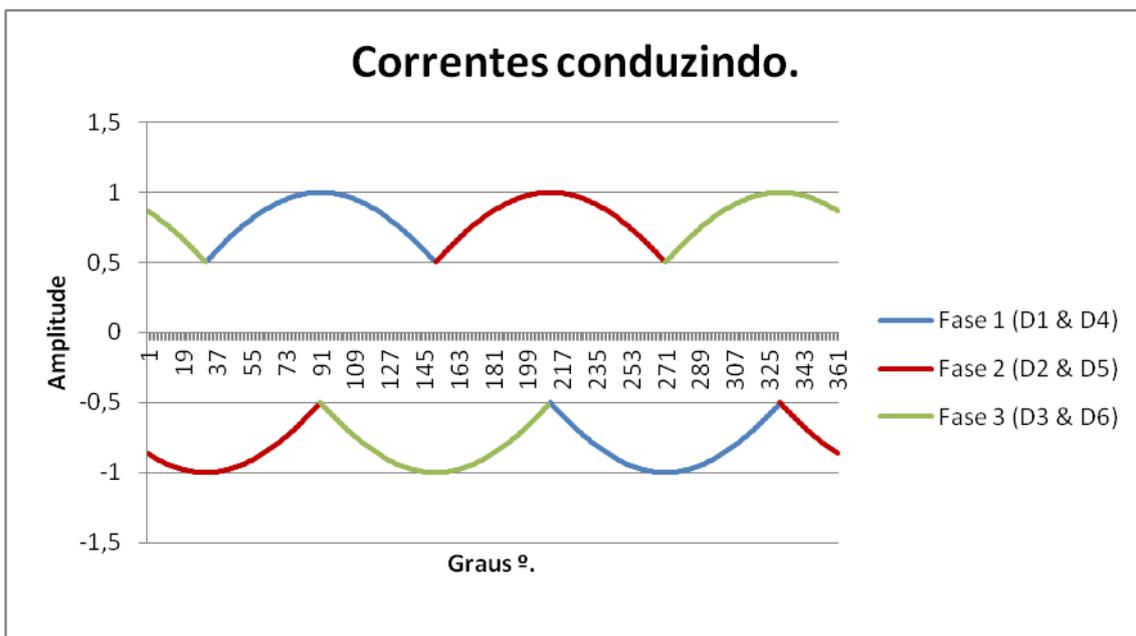
A figura (5) ilustra o sinal gerado em cada uma das fases, antes delas serem retificadas, e a figura (6) ilustra os sinais que passam pelos diodos da ponte retificadora. Podemos observar que de 0° até 30° a fase 2 e 3 são as que conduzem, sendo a fase 2 conduz através do diodo 5 e a fase 3 conduz através do diodo 3, em 30° a fase 1 se torna, em modulo, maior que a fase 3 então a fase 1 conduz através do diodo 1 e a fase 3 deixa de conduzir, após 60° agora em 90° a fase 2 deixa de conduzir e a fase 3 começa a conduzir através do diodo 6, após 60° agora em 150° a fase 1 deixa de conduzir e a fase 2 começa a conduzir através do diodo 2, após 60° agora em 210° a fase 3 deixa de conduzir e a fase 1 começa a conduzir através do diodo 4, após 60° agora em 270° a fase 2 deixa de conduzir e a fase 3 começa a conduzir através do diodo 3, após 60° agora em 330° a fase 1 deixa de conduzir e a fase 2 começa a conduzir pelo diodo 5. A tabela (1) ilustra de forma resumida o explicado no parágrafo anterior.

Figura 5: Sinal Trifásico Gerado pelo Alternador.



Fonte: Autor.

Figura 6: Correntes que conduzem através dos diodos.



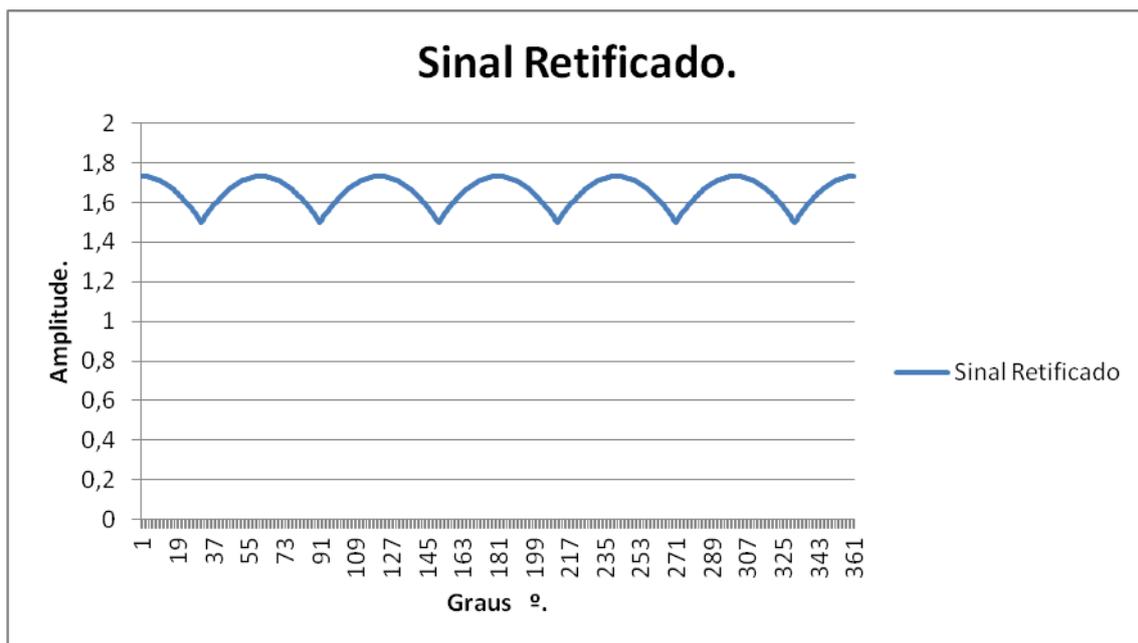
Fonte: Autor.

Tabela 1: Fases que conduzem.

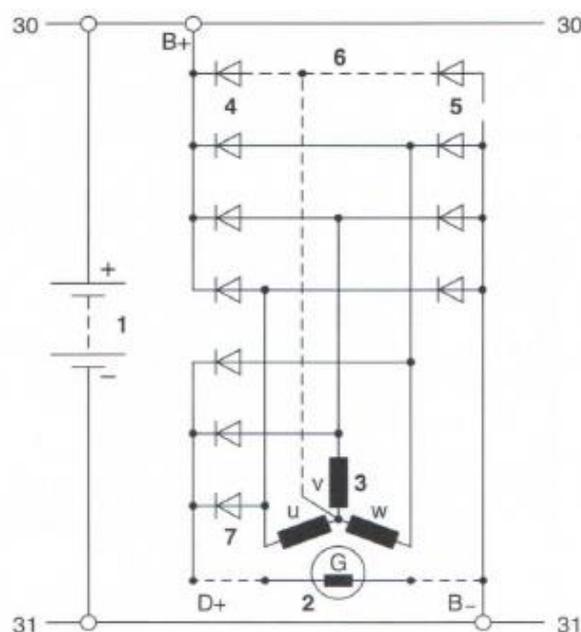
Graus (°)	Fases conduzindo		Diodos conduzindo	
0-30	3	2	D3	D5
30-90	2	1	D5	D1
90-150	1	3	D1	D6
150-210	3	2	D6	D2
210-270	2	1	D2	D4
270-330	1	3	D4	D3
330-30	3	2	D3	D5

Fonte: Autor.

A figura (7) ilustra o sinal já retificado na qual o sinal resultante e igual à soma dos modulo das tensões que conduzem através dos diodos.

Figura 7: Sinal Retificado.

Fonte: Autor.

Figura 8: Esquema ponte retificadora.

Fonte: Extraído de (Robert Bosch GmbH, 1998).

Para retificação da corrente trifásica são utilizados seis diodos conectados em ponte, sendo dois diodos para cada fase, um ligado no lado positivo (borne positivo) e um ligado no negativo (borne negativo). A figura 6 ilustra a tensão alternada do alternador e a figura 7 a tensão de saída do retificador. Esses diodos também têm função de impedir a descarga da bateria através dos enrolamentos do estator, com motor parado ou quando a rotação for abaixo da necessária para a auto excitação.

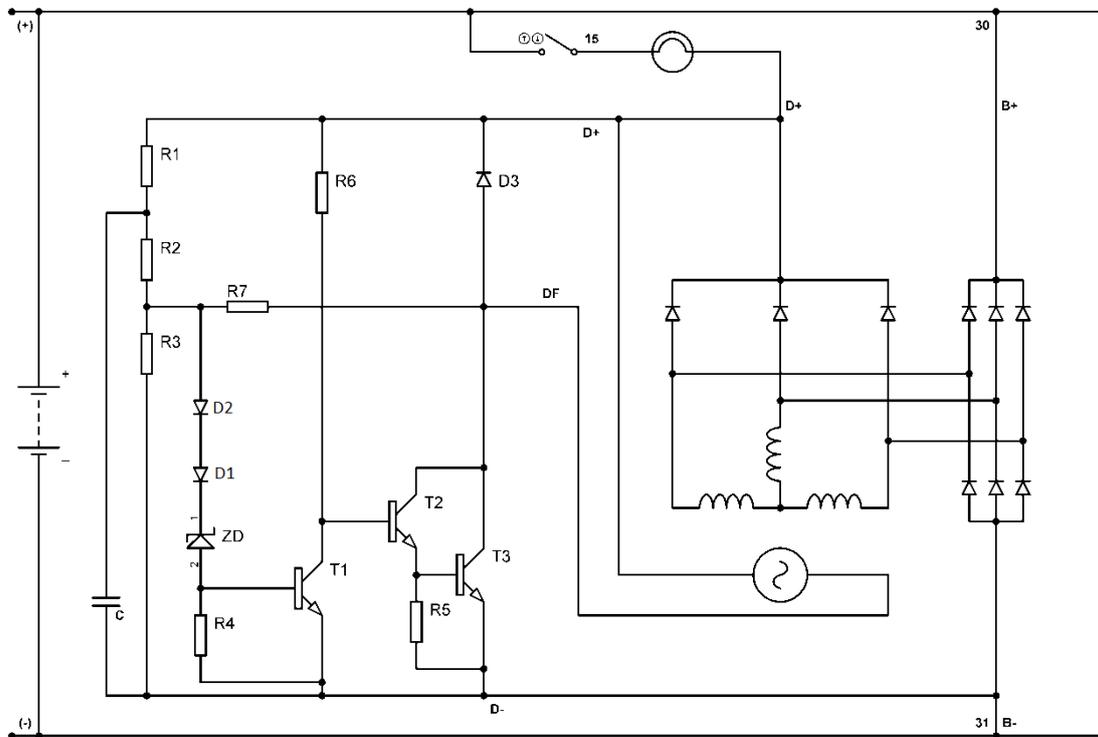
2.3.1 Regulador de tensão

A função do regulador de tensão no sistema do alternador é manter a tensão estável mesmo com a mudança de regime de funcionamento do motor a combustão e conforme a demanda elétrica do veículo. Este controle é feito para proteger os consumidores contra níveis de tensão acima da sua operação e manter a tensão de carga da bateria em um nível ideal que priorize o tempo de carga e a vida útil da mesma (Robert Bosch GmbH, 1998).

2.4 Análise do circuito regulador.

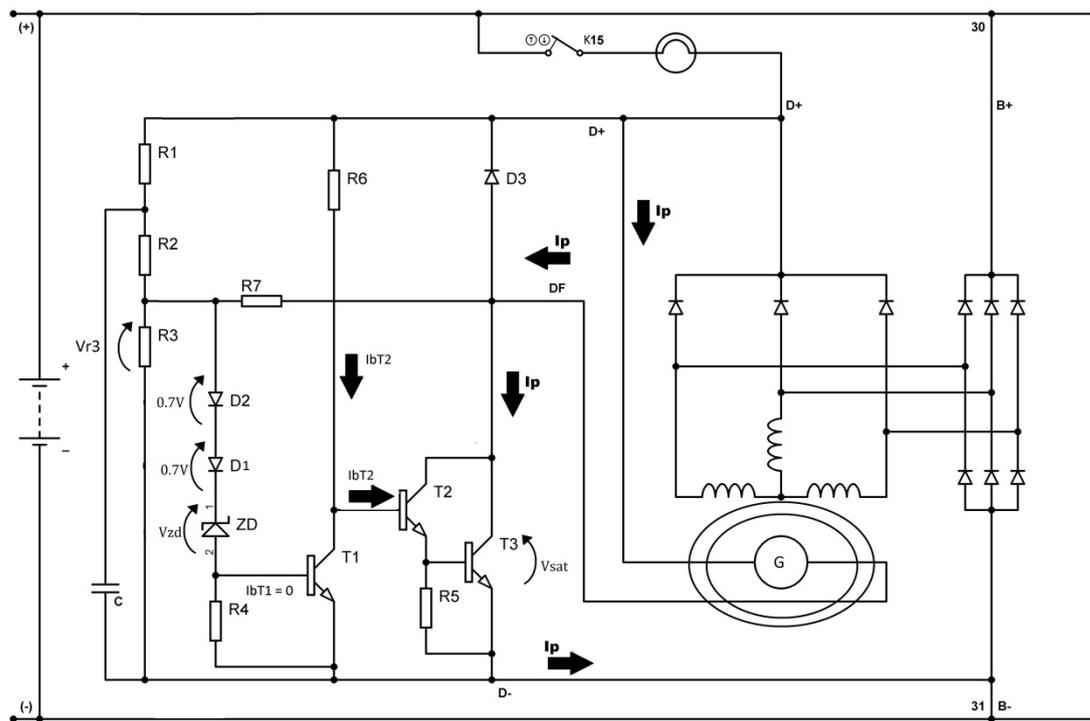
O circuito ilustrado na figura (9) representa um regulador de tensão do sistema do alternador.

Figura 9: Circuito Regulador.



Fonte: Autor.

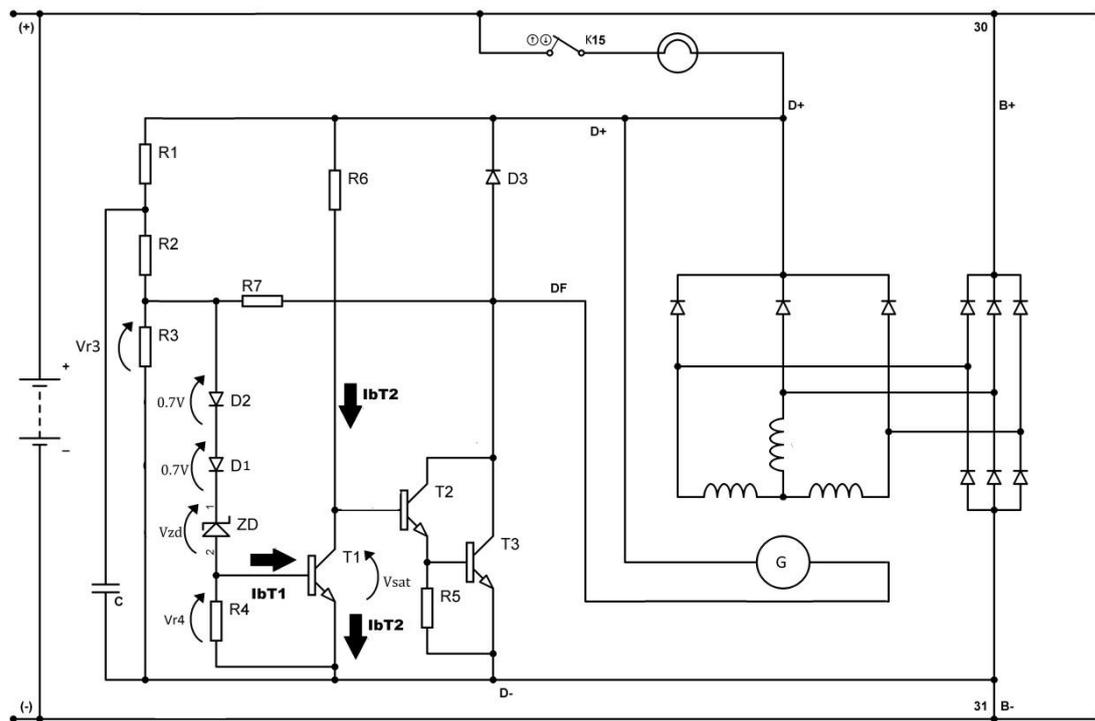
Durante a partida a tensão de polarização do enrolamento de campo é fornecida pela bateria através da lâmpada L1. Como discutido na secção anterior, esse campo juntamente com a rotação do rotor, dá origem a uma tensão induzida no enrolamento estacionário, como ilustrado na figura (10). Após a partida a própria tensão produzida pelo alternador supre o enrolamento de campo. Esse fenômeno é conhecido como auto excitação.

Figura 10: Circuito Regulador durante a partida.

Fonte: Autor.

O funcionamento nominal é representado pela figura (11). O divisor de tensão composto por R, R2 e R3 é responsável por polarizar o diodo Zener Dz1, onde a tensão em R3 será igual a soma das tensões de Dz1, R4 mais 1,4 V proporcionada pelos diodos em serie com o Dz1. Durante o funcionamento nominal do alternador supõem se que a tensão em R3, é tal que a tensão em Dz1 não atinge a tensão de Zener logo o Dz1 não conduz, como Dz1 não conduz a corrente na base do transistor T1 é zero, logo o transistor T1 está em corte e a corrente de coletor de T1 é zero, logo a base do transistor T2 é polarizada pela corrente de R6 levando o transistor T2 a saturação, e por consequência da montagem Darlington o transistor T3 também a saturação, logo a corrente do enrolamento de campo flui através dos transistores da montagem Darlington.

Figura 12: Circuito Regulador de Tensão durante sobre tensão.



Fonte: Autor

2.5 Inversor de frequência

O inversor de frequência é um circuito que a partir de uma alimentação de corrente alternada, retifica o sinal para corrente contínua e depois modula o sinal, a fim de alterar a tensão média do sinal e sua frequência além de modulá-lo em três fases defasadas em 120° para alimentar um motor de indução trifásico que será utilizado.

Como a velocidade síncrona em rotações por minuto de um motor de indução trifásico é dada em termos teóricos pela equação:

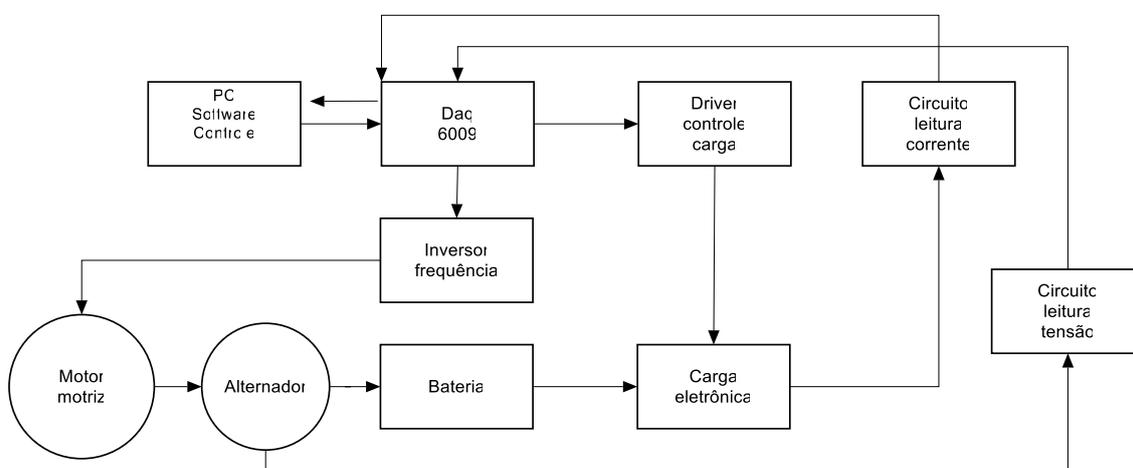
$$n = \left(\frac{120}{\text{pólos}} \right) f \text{ RPM}$$

Com isso o inversor controla a frequência do sinal aplicado ao motor com o objetivo de controlar a velocidade do mesmo.

3 Metodologia do Trabalho.

Neste capítulo será descrito a metodologia do trabalho, sendo as seções de circuitos eletrônicos de controle, circuitos eletrônicos de potência e montagem mecânica da bancada de teste de alternadores que simulará a carga a ser suprida e rotações de trabalho em condições de testes que aprovam o funcionamento do componente, a figura a seguir ilustra um diagrama de blocos do projeto.

Figura 13: Diagrama do projeto.



Fonte: Autor.

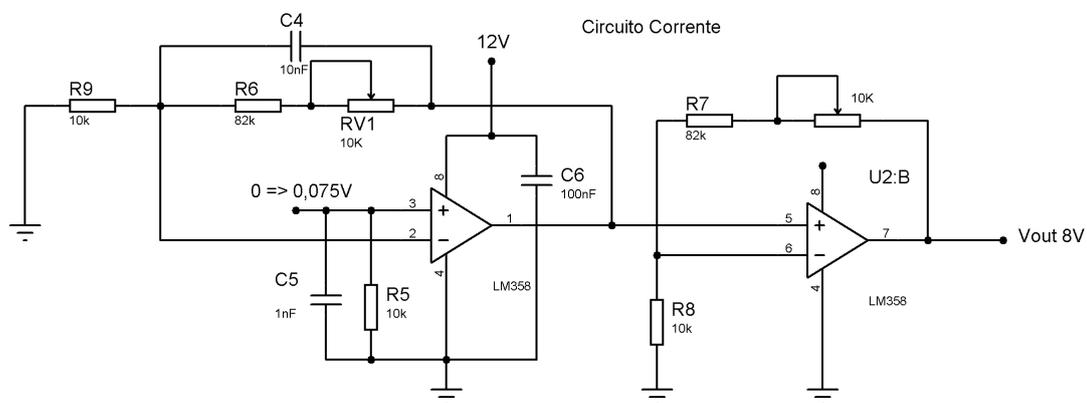
3.1 Driver de Controle.

O controle da carga que deverá ser suprida pelo alternador que será controlado por dois modos, o manual e o automático. O circuito manual será composto de um potenciômetro de 10K Ω , como ilustrado pela figura (14). O potenciômetro é montado no painel da bancada enquanto o resto do circuito é montado na placa de circuito. O controle automático é realizado através de uma VI de *Labview* com a interface DAQ da *National Instruments*, o funcionamento da VI de controle é discutido na seção (3.6).

O seguinte circuito, ilustrado pela figura (14), foi utilizado para amplificar a tensão lida no resistor de *shunt* do circuito de potência. Esse resistor possui resistência de 750 $\mu\Omega$ gerando uma tensão 75mV a cada 100 amperes, assim é necessário amplificar o sinal por um fator de 104,04 dividido em dois estágios de 10,2 cada através de montagens não inversoras. Com esse fator a tensão

máxima na saída do circuito será de 8V, ficando dentro do valor máximo da tensão de leitura das portas analógicas do Daq, que é de 10V.

Figura 14: Circuito de leitura de corrente.

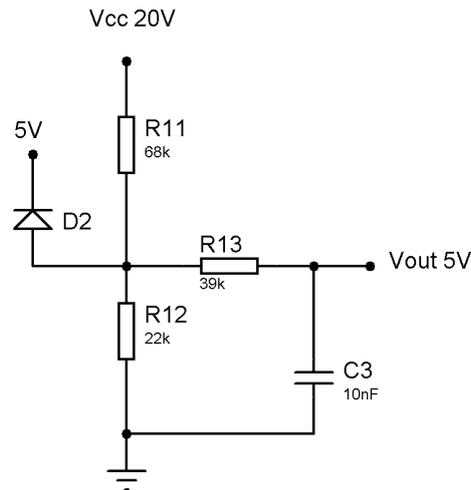


Fonte: Autor.

Também é utilizado um circuito divisor de tensão para realizar a leitura de tensão do alternador, que pode variar até valor máximo de 20V. Com leitura analógica do DAQ tem como tensão máxima 10V foi utilizado um circuito divisor de tensão com fator de 0,24. Como ilustrado pela figura abaixo.

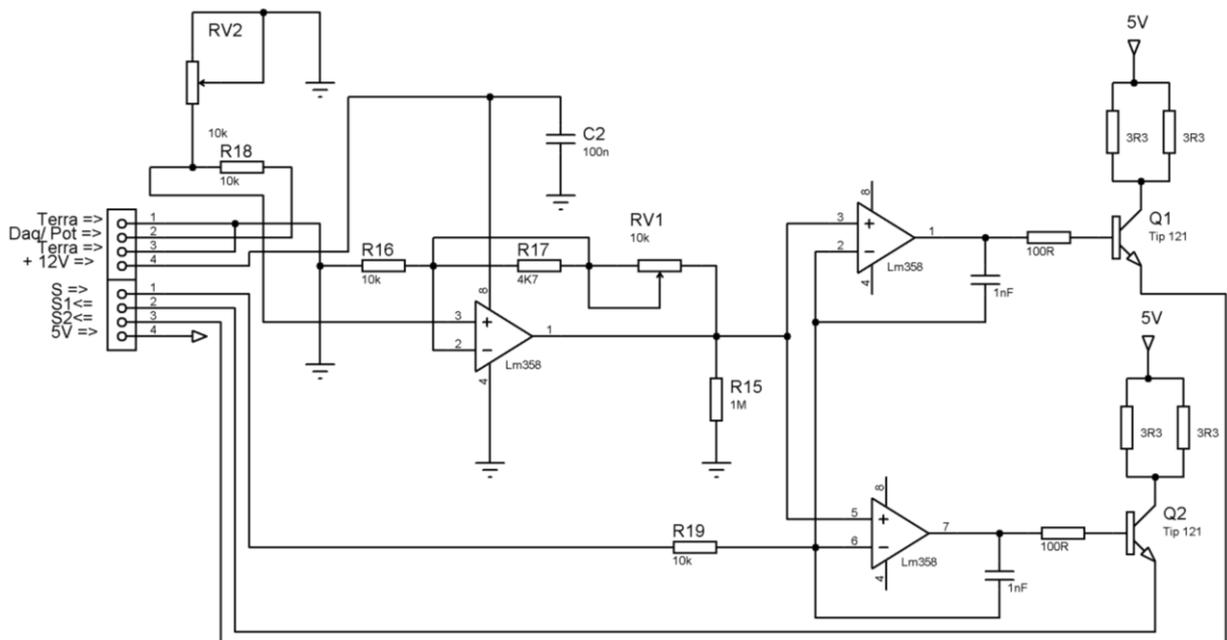
Figura 15: Circuito de leitura de Tensão.

Circuito Tensão



Fonte: Autor.

Figura 16: Driver de controle.



Fonte: Autor.

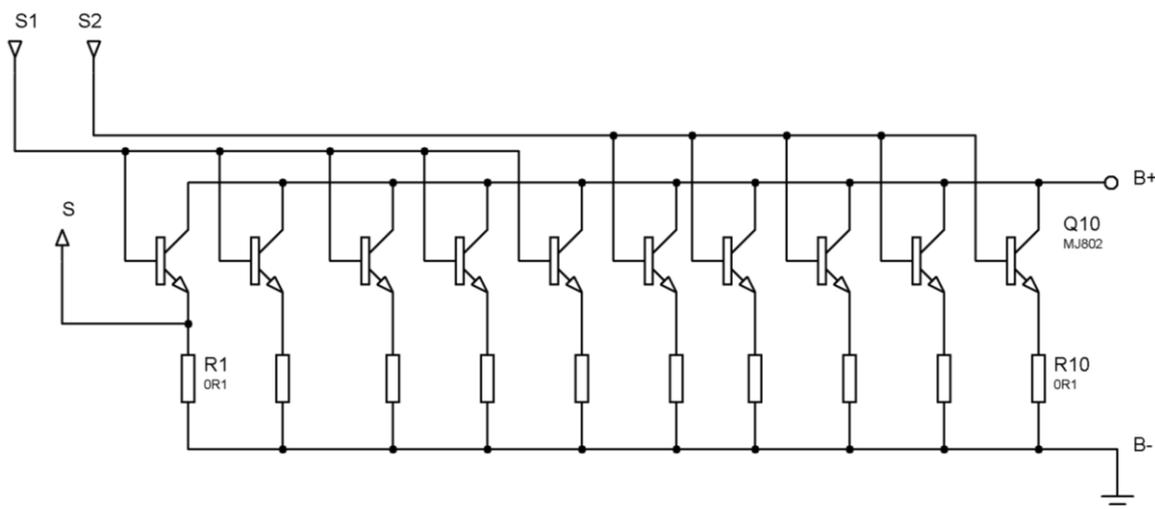
Ambos os sinais de controle estão ligados a uma chave de seleção, a saída comum desta chave está ligada a um amplificador operacional modelo LM358, que controla um transistor TIP 121 que está montado em serie com o driver de potência. A figura (16) ilustra este circuito de controle.

3.2 Driver de Potência.

A carga eletrônica que simulará o consumo para o alternador está entre 0 até 1200W. Para simular essa carga para o alternador será utilizado um driver de potência que é constituído de 10 transistores Darlington, onde dois transistores TIP121 polarizam a base dos 10 transistores MJ802. Cada transistor MJ802 suporta até 200W de potência com $V_{CE_{max}}$ de 100V e 30A de I_{max} . É montado um resistor de 0.1Ω de 15 W em serie com o emissor do transistor MJ802, para ser utilizado como resistor de shunt para o circuito de controle.

O *driver* é montado em uma estrutura de dissipadores de calor. O driver de potência é ilustrado na figura abaixo.

Figura 17: Driver de Potência.



Fonte: Autor.

3.3 Escolha do Transistor

O transistor escolhido para o circuito de potência foi o MJ802, sua escolha foi feita devido a sua corrente de coletor de 30A, necessária para o projeto, porém foi necessário se desenvolver um sistema de arrefecimento a água para dissipação do calor produzido pelo conjunto de potência, afim de garantir o seu funcionamento além de preservar sua vida útil.

A tabela a seguir mostra os resultados dos testes realizados com a intenção de se analisar o comportamento do aquecimento de um conjunto de potência formado por 10 transistores MJ802.

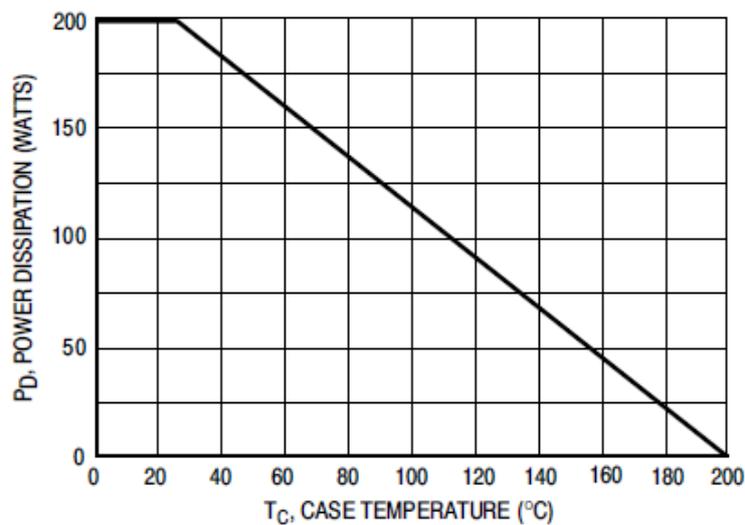
Figura 18: Resultado dos testes de aquecimento dos transistores.

Tempo minuto p/ alterar temperatura X a X2 graus Celsius						X= temp. inicial				Diferença temp.	
Objetivo manter a temperatura no dissipador <= 80 graus C.						X2= temp. final				X2 reserv. água	
Teste	Tempo	X	X2	Alteração	Refr. Liq.	i total	Vbat	P. trans.x	P.total	T. água	diferença
1	10:52	20	74	54	desligada	46,8	11,5	83,01	498,05	20	54
2	10:03	21	63	42	ligada	46,7	11,7	84,40	506,41	41	22
3	10:04	21	62	41	*ligada	48,1	11,6	85,92	515,54	39	23
4	08:16	21	78	57	desligada	46,5	11,8	84,84	509,06	21	57
5	06:36	78	63	-15	ligada	47,7	11,52	84,63	507,79	38	25
6	10:05	22	69	47	ligada	71,3	10,86	79,13	712,18		69
7 *	20:00	28	71	43	ligada	60	13,5	85,11	766,00	40	31
8	20:00	28	76	48	ligada	60	13,45	84,78	763,00	43	33
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0
				0				0,00	0,00		0

Fonte: Autor.

Como podemos perceber com o sistema de arrefecimento funcionando, o conjunto não teve uma variação de temperatura maior do que 48°C. Podemos destacar também o teste 7 que foi realizado com a adição de uma ventoinha automotiva para dissipar o calor da água.

O controle de temperatura é de grande importância para este trabalho tendo em vista que quando o sistema operava a temperaturas elevadas a capacidade de potência dos transistores é reduzida drasticamente, como podemos ver na figura (18).

Figura 19: Curva do transistor MJ802.

Fonte: Datasheet MJ802.

3.4 Sistema de Arrefecimento

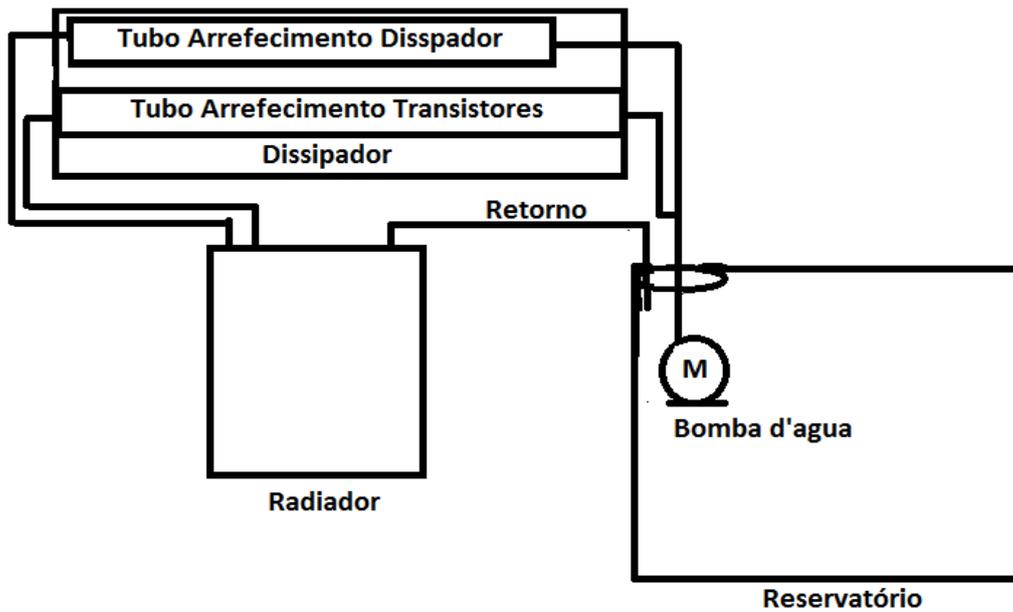
O sistema de arrefecimento é composto por um reservatório de água de 20 L, uma bomba d'água modelo universal que é utilizado no sistema de limpeza do para-brisa veicular, uma ventoinha utilizada em sistema de arrefecimento automotivo, um radiador do sistema de aquecimento interno do veículo Jetta e dissipadores onde estão inseridos os transistores como visto na figura (16).

Figura 20: Conjunto de transistores instalados no dissipador.

Fonte: Autor.

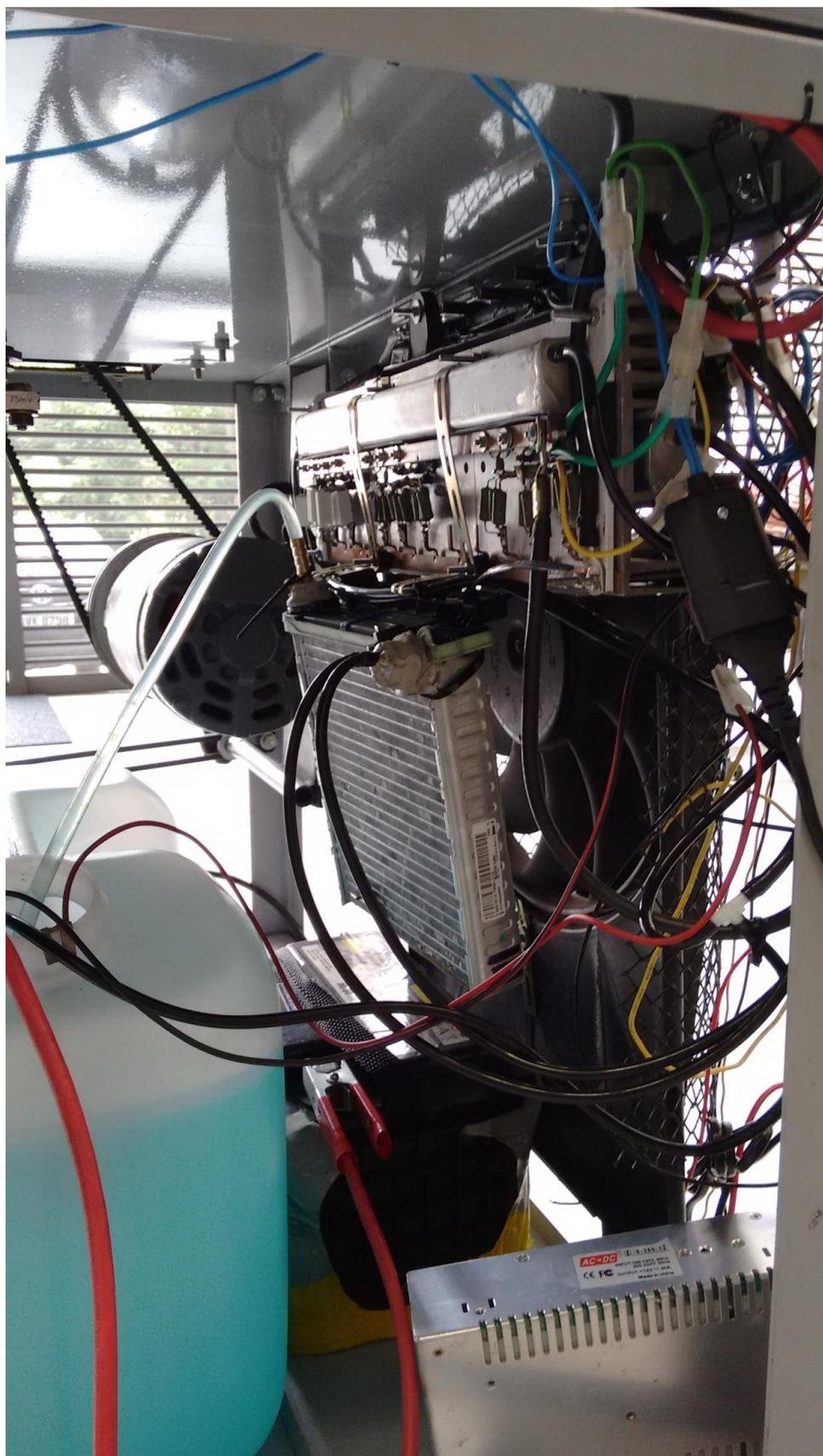
O sistema conta com duas tubulações de alumínio que possuem volume de 210,5ml e 238ml. A primeira é a tubulação que percorre os dissipadores que possuem os transistores inseridos, e a segunda fornece refrigeração direto no corpo dos transistores. As figuras abaixo ilustram o esquema de montagem desse sistema e uma foto do mesmo.

Figura 21: Esquema sistema de arrefecimento.



Fonte: Autor.

Figura 22: Sistema de arrefecimento.



Fonte: Autor.

3.4 Parametrização do Inversor de frequência

Para o controle remoto da frequência do inversor é utilizado um potenciômetro ligado na entrada AI1. Essa entrada tem como função o controle da frequência gerado pelo inversor. Segundo o manual, o sinal de referência pode ser fornecido uma tensão de 0 a 10V ou por duas opções de corrente. Essas opções são selecionadas pelo parâmetro P235 segundo a tabela (2).

Tabela 2: Configuração parâmetro P235.

P235	Tipo/ Excursão do Sinal
0	0 a 10V ou 0 a 20mA
1	4 a 20mA

Fonte: Extraído (WEG, 2013).

Os limites de frequência mínima e máxima são definidos pelos parâmetros P133 e P134 do inversor respectivamente. Estes valores se relacionam com o sinal de controle AI 1 em função das seguintes equações, dependendo do método de referência selecionado.

Tabela 3: Configuração ganho do inversor.

Sinal	Equação
0 a 10V	$AI'1 = \left(\frac{Alx * GANHO}{10} + \frac{OFFSET}{100} \right)$
0 a 20Ma	$AI'1 = \left(\frac{Alx * GANHO}{20} + \frac{OFFSET}{100} \right)$
4 a 20Ma	$AI'1 = \left\{ \left[\frac{(Alx - 4)}{16} \right] * GANHO + \frac{OFFSET}{100} \right\}$

Fonte: (WEG, 2013).

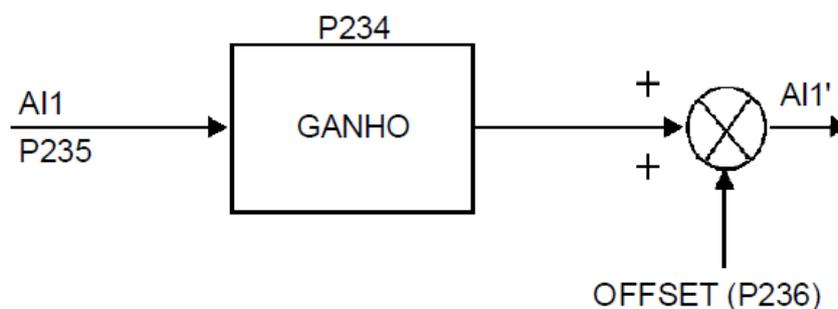
Onde Alx é o valor da entrada, GANHO é o ganho do sinal configurado pelo comando P234, e OFFSET é o offset do sinal de referência configurado pelo parâmetro P236. No presente trabalho foi selecionado P235 utilizando-se

referência por tensão, sendo que o sinal de referência é fornecido por um hardware que fornece no máximo 5V. Logo, manipulamos a equação para calcularmos o nosso ganho, supondo que o *offset* do nosso sinal é de 0, já que no presente trabalho não será necessário reverter a rotação do motor.

3.4.1 Sistema de controle de frequência do inversor.

Segundo (WEG, 2013) o sistema de controle adota pelo inversor é ilustrado pela figura (23).

Figura 23: Sistema de controle da frequência do inversor.



Fonte: (WEG, 2013).

Na figura 23 observamos que, como visto anteriormente, $AI 1$ é o sinal de referência definido pelo parâmetro $P235$ do inversor. O valor da variável $GANHO$ será o ganho aplicado ao sinal de referência para definir a frequência de referência do inversor, $OFFSET$ é um ajuste em relação ao valor de referência, o valor de padrão de $offset$ é de 0, logo o valor de referência que sai do bloco de $GANHO$ é dado a $AI 1'$, caso o valor de $offset$ seja negativo, por exemplo de -50% o valor que sai do bloco de $GANHO$ será somado ao valor de $offset$ logo o valor de referência irá excursionar de -50% até 50%.

Quando a referência para o inversor é negativa o mesmo aplica o módulo da referência a $AI 1$, porém invertendo o sentido de giro do motor.

3.5 Montagem Mecânica

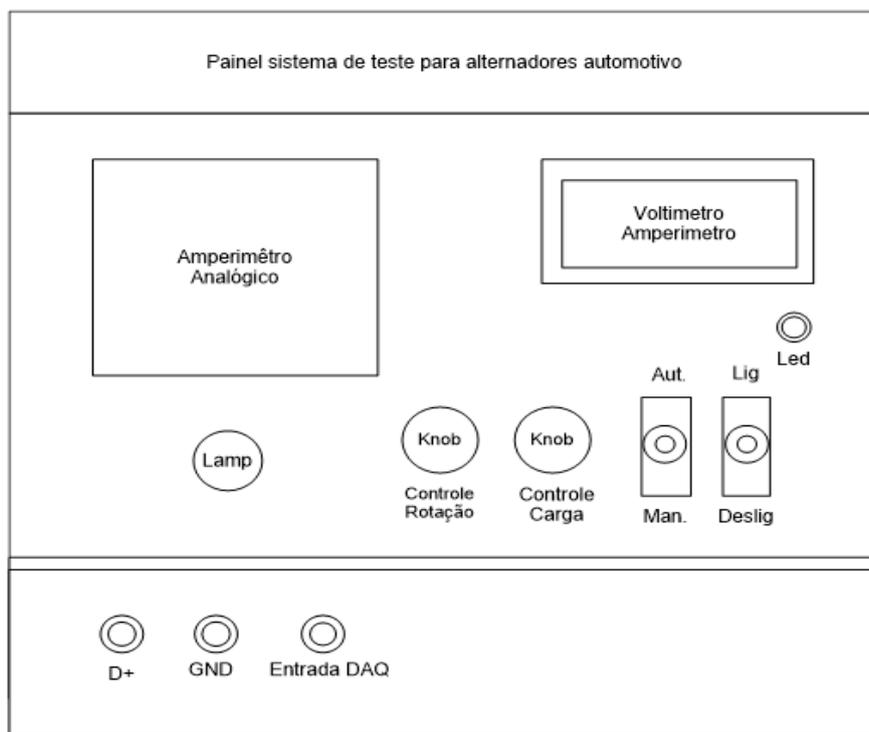
Como um dos objetivos do projeto é que a bancada venha a ser utilizada no futuro em aula, a mesma foi projetada para que possa ser utilizada em aula de forma segura e simples, a figura a seguir ilustra a bancada após a conclusão do projeto.

Figura 24: Banca de testes.



Fonte: Autor.

A interface com usuário é ilustrada na figura (25), como pode ser observado a interface é constituída de um multímetro digital de uso geral para teste, um amperímetro analógico com características ilustradas na tabela (4), que mede a corrente do alternador, um LED de indicação de funcionamento, uma chave liga/desliga, uma chave seletora do modo manual/automático, uma lâmpada piloto do alternador, um potenciômetro para controle da carga imposta ao alternador, e um para controle da rotação durante o modo manual, um terminal para que possa ser ligado a lâmpada piloto, e a entrada para a interface Daq.

Figura 25: Croqui da Interface de usuário.

Fonte: Autor.

Tabela 4: Características Amperímetro da bancada de testes.

Amperímetro KITA
Bobina de ferro móvel do tipo geral.
Tensão máxima de medida 2KV.
Utilização na posição vertical.
Erro de medição de 1.5%
Utilizado para Corrente alternada e continua.

Fonte: manual amperímetro.

3.5.1 Acoplamento mecânico

O alternador terá seu eixo acoplado através de um conjunto correia e polias com relação de dois por um a um motor de indução trifásico VOGES 3DORD58, de 3 HP de potência e rotação de 3500RPM, os dados completos do motor estão na tabela (5).

Tabela 5: Dados do motor.

Motor de indução trifásico VOGES LT80016	
Potência	2.2 KW/ 3 HP
Tensão Nominal	220/ 380V
RPM	3500
Corrente Nominal	7,6/ 4,4 A
AFS	8,8/ 6,0A
COS φ	0.89
Rendimento	86%
AMB	40°C
Frequência	60Hz
FS	1,15
IP	21

Fonte: Etiqueta motor.

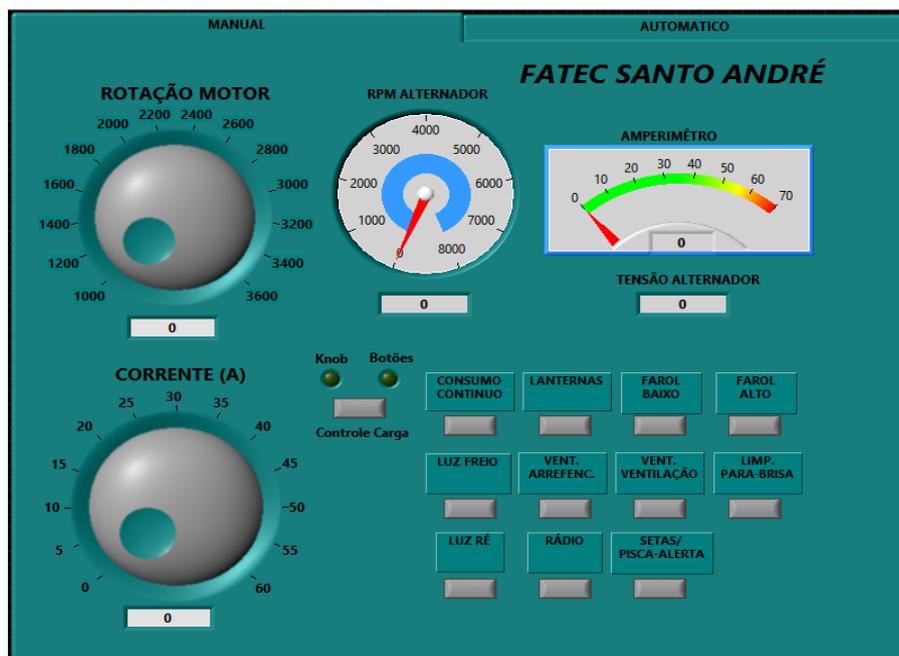
O motor é ligado a um inversor de frequência WEG modelo CFW10 que irá controlar a sua rotação e por consequência a rotação do alternador, o controle do inversor de frequência é feito pela VI de *Labview* através da interface DAQ.

3.6 Software de controle

O *software* de controle é desenvolvido na plataforma *Labview* da *National Instruments*, através de uma interface DAQ modelo (USB6009). A função desse *software* é controlar a bancada de forma manual ou automática e realizar a leitura de parâmetros da bancada.

No controle manual os parâmetros controlados são a carga do alternador em amperes e a rotação do motor, estes podem ser definidos através de knobs ou de botões que tem como função simular o acionamento de acessórios do veículo como lanternas, faróis, radio e ventilador. Também é informado para o operador a informação da rotação e corrente do alternador como visto na figura (26).

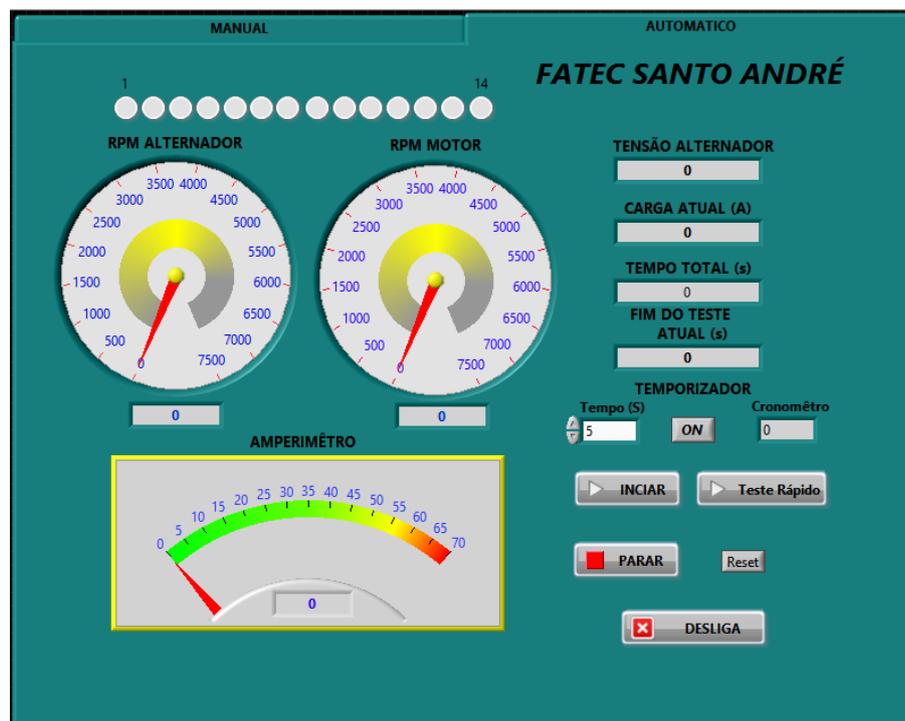
Figura 26: Interface de Controle Manual.



Fonte: Autor.

No controle automático, o *software* simula um regime de operação usual de um veículo, realizando uma rotina pré-determinada de 11 minutos de 14 condições de acionamento de acessórios e rotação do motor em função do tempo, que é realizada em *loop*. Esse sistema também tem a função de acelerar a simulação através do botão teste rápido onde o teste agora é realizado em um decimo do tempo total e configurar o encerramento do teste de forma temporizada em segundos. No final do teste é gerado um arquivo de texto (.txt) que contém as informações de corrente medida do alternador, tensão medida, rotação do alternador e carga imposta. O painel frontal informa para o operador a rotação do alternador, rotação do motor, condição atual (1 a 14), tensão do alternador, corrente do alternador, carga atual, tempo total do teste, tempo de finalização da condição atual como visto na figura (27).

Figura 27: Interface Controle Automático.



Fonte: Autor.

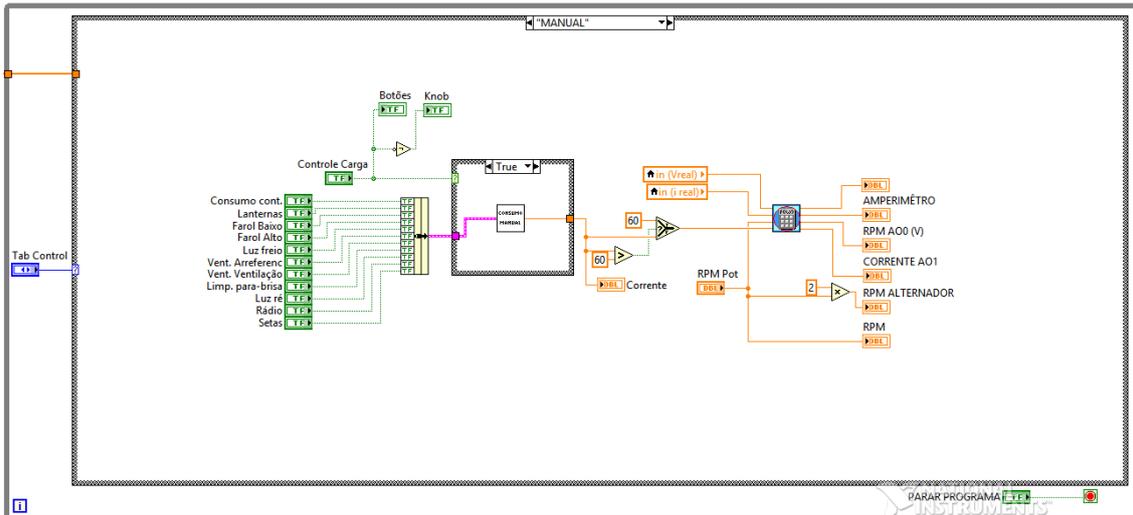
3.6.1 Bloco de Diagramas

O programa tem como logica principal um laço *switch* para seleção do modo de operação manual ou automático. No controle manual a carga é definida através de um laço switch sendo que é possível selecionar a opção por knob ou por botões. O valor da carga, da tensão medida e corrente medida através do DAQ configurado sua entrada analógica como RSE, é enviada para uma função de interpolação para compensar a redução do circuito de leitura. Logo a tensão e corrente medida será interpolada para compensar a atenuação do circuito de medição.

O valor da carga será enviado para a saída analógica do DAQ que controla o acionamento dos transistores do circuito de potência, e outra saída analógica é utilizada para controle da rotação do motor através do inversor de frequência.

O diagrama de bloco é ilustrado através da figura (28).

Figura 28: Diagrama de blocos do modo manual.

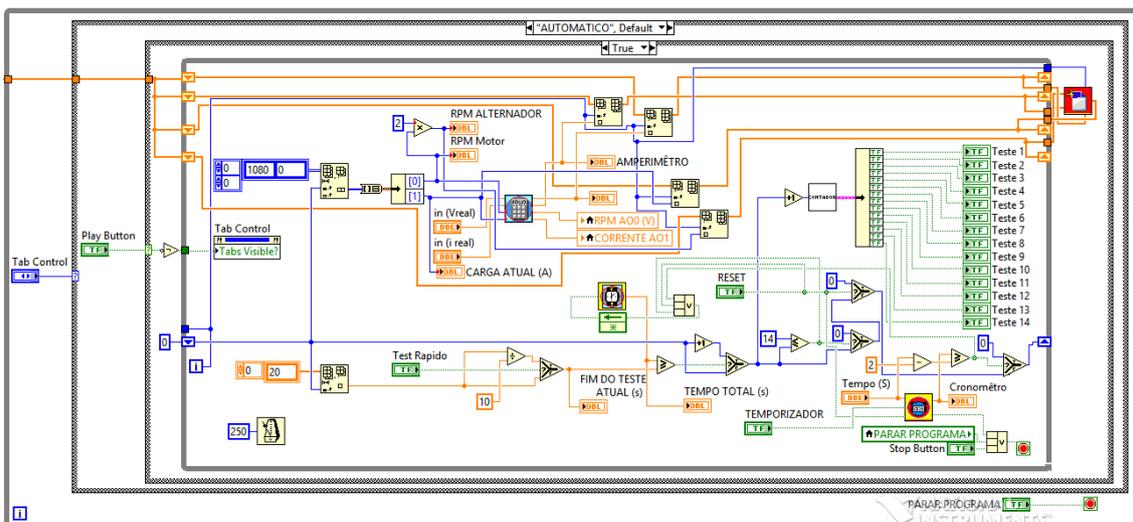


Fonte: Autor.

No controle automático uma matriz contém os valores de carga e rotação que irão ser simulados, estes valores são utilizados para controlar o circuito de potência e rotação do motor através do inversor de frequência. Estes valores são alterados automaticamente em função do tempo através da função 'da SubVI TimeSeg, que permite a repetição do loop while somente quando o tempo do final do teste é alcançado.

O diagrama de blocos para controle automático é ilustrado pela figura abaixo (no anexo há imagens ampliadas do código).

Figura 29: Diagrama de blocos modo automático.



Fonte: Autor.

4 Resultados

Este capítulo irá discutir os resultados obtidos com os testes realizados utilizando a bancada e o teste automático.

4.1 Teste inicial

O primeiro teste realizado teve como intuito testar o funcionamento do circuito de potência, foi utilizada uma fonte chaveada de 12 V com capacidade de 30 A, como carga foi conectado uma lâmpada halogênica (H4) em serie com os transistores de potência. Utilizando-se o modo manual variou-se o sinal na base do transistor de controle da montagem Darlington, e verificou-se a variação na intensidade luminosa imitada pela lâmpada.

O segundo teste realizado foi medido a queda tensão em cima dos resistores de shunt, para se verificar se todos os transistores estavam balanceados, ou seja, se a corrente de coletor dos transistores é igual. A tabela (6) ilustra os resultados das medidas assim como a média dos valores, a diferença dos valores para a média e o desvio padrão.

Tabela 6: Teste 1.

Conjunto	V_Rsh unt	V_Rshunt Média	-	Média	Desvio Padrão
1	0,0845	0,0033		0,0812	0,013775
2	0,0779	-0,0033			
3	0,0721	-0,0091			
4	0,0764	-0,0048			
5	0,0781	-0,0031			
6	0,088	0,0068			
7	0,1216	0,0404			
8	0,0703	-0,0109			
9	0,081	-0,0002			
10	0,0813	0,0001			

Fonte: Autor.

Como resultado foi observado que o conjunto do sétimo transistor estava relativamente desbalanceado (conduzindo mais) em relação aos outros conjuntos, como pode ser observado na tabela acima. Para resolver esse problema o transistor do conjunto 7 foi substituído.

4.2 Resposta a carga imposta

Foi realizado o teste automático que compreende da alteração automática dos valores de carga imposta e rotação do alternador. Os valores impostos são os seguintes.

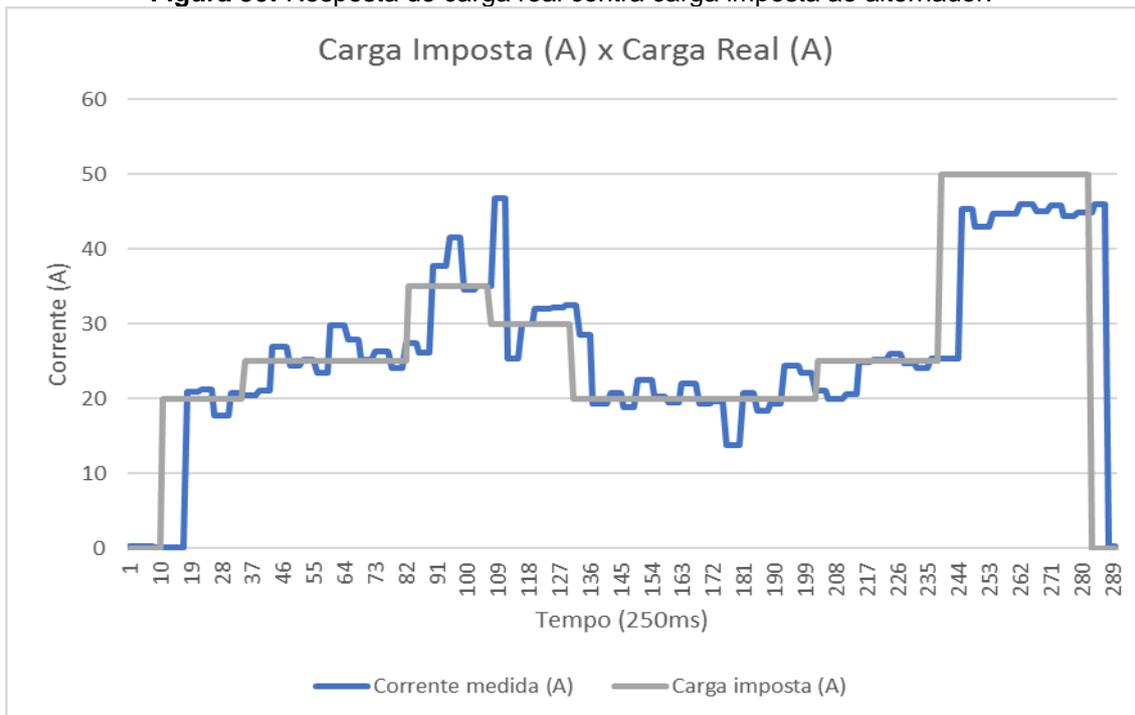
Tabela 7: Valores de carga e rotação imposta por testes.

Ciclos	Carga (A)	Rotação motor (RPM)
1	0	1080
2	20	1500
3	25	1500
4	25	1800
5	35	1800
6	30	2700
7	20	2700
8	20	3000
9	20	1800
10	25	2400
11	25	3300
12	50	3300
13	35	3300
14	25	2400

Fonte: Autor.

O valor de corrente e tensão medidas foram adquiridas com uma taxa de 4Hz e foram analisadas. A figura (30) ilustra a resposta da corrente medida em relação a carga imposta, durante os 14 ciclos de teste. Podemos ver na imagem parâmetros como o tempo morto (atraso da resposta do circuito da carga eletrônica) do sistema que é de 2500mS. Também podemos perceber que o circuito de controle não consegue manter a corrente estável, oscilando durante um mesmo período.

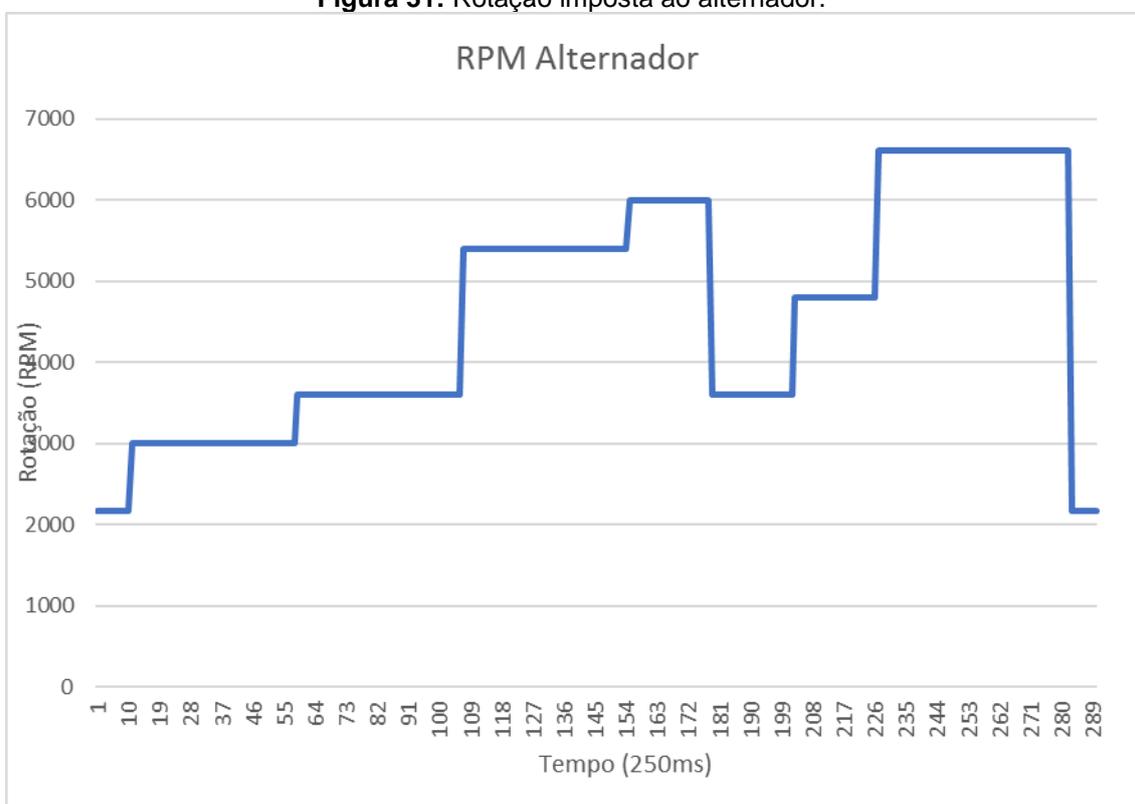
Figura 30: Resposta de carga real contra carga imposta ao alternador.



Fonte: Autor

A figura (31) ilustra a rotação imposta pelo *software* ao alternador, por limitações de tempo a rotação real do alternador não foi medida, e está colocado nas propostas futuras como possível melhoria.

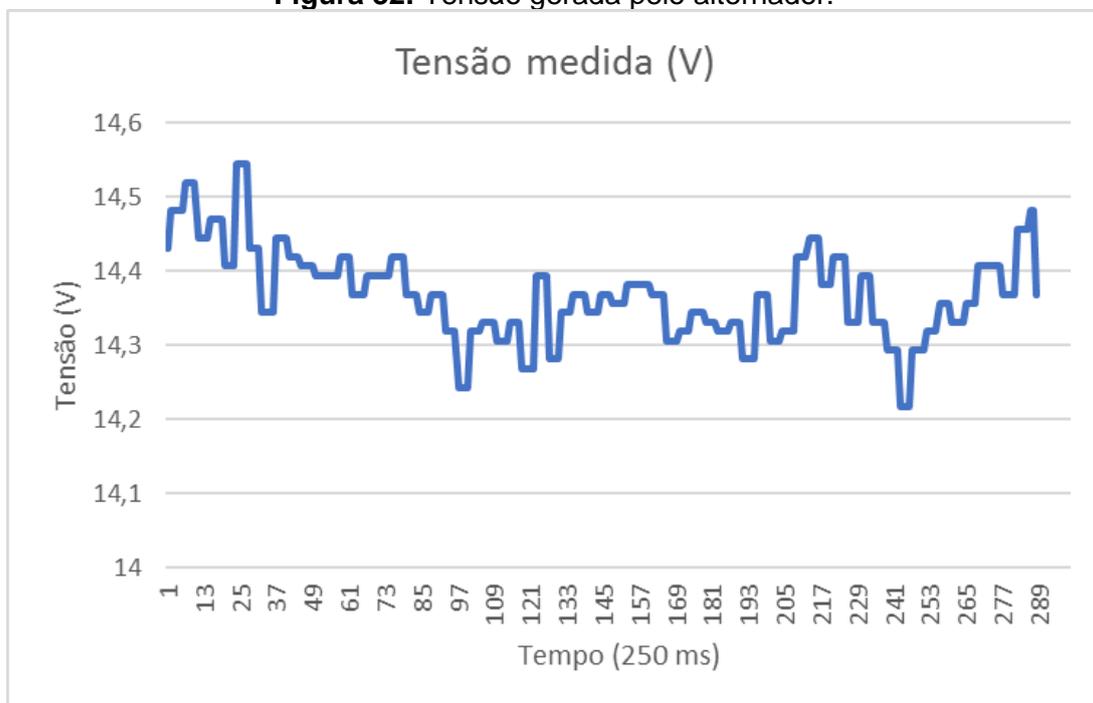
Figura 31: Rotação imposta ao alternador.



Fonte: Autor

A figura (32) ilustra a tensão medida do alternado, como a tensão de saída do alternador passa pelo regulador e este a limita a no máximo 14,8V.

Figura 32: Tensão gerada pelo alternador.



Fonte: Autor.

5 Conclusão

O presente trabalho, que teve como base, o trabalho dos alunos ARAÚJO C. N., e ZAVAN R. A. (2014), atendeu os requisitos de controlar, a rotação e a corrente impostas ao alternador de forma manual ou automática, ler os parâmetros de corrente e tensão gerada pelo alternador, além de aperfeiçoar questões como a montagem da carga eletrônica, parametrização do inversor de frequência e aquisição e salvamento de dados através *software* de controle escrito em *LabView* 2016.

Dois grandes diferenciais desse projeto em relação ao de 2014, são o tamanho mecânico da carga eletrônica que ficou bem menor, comparado com o da carga eletrônica anterior, e o sistema de arrefecimento da carga que antes era formado por apenas dissipadores e ventoinhas, passou a contar também com um sistema de refrigeração líquida, que foi fundamental para o funcionamento da carga por um período maior, sem sofrer um sobreaquecimento, que poderia comprometer seu funcionamento e até danificar os transistores de potência.

Este trabalho participou do 1º concurso a nível América Latina, do NI Engineering Impact Awards, ficando com primeira colocação da América Latina na categoria acadêmico.

5.1 Propostas futuras

- Gerar perfil de consumo direto de um carro;
- Fazer uma malha PID no controle de rotação (encoder);
- Substituir o inversor de frequência por um de maior potência;
- Fazer o controle do sistema com o micro controlador PIC 18F4550;
- Fazer um sistema de análise automática do estado do alternador;
- Fazer um sistema para simular o aquecimento da temperatura do alternador.

6 Bibliografia

ALVES , M. F., & LOURENÇO, M. D. (2009). *Automóvel Sistema de Carga*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.

ARAÚJO, C. N., & ZAVAN, R. A. (2014). *PLATAFORMA AUTOMATIZADA PARA ENSAIOS DINÂMICOS DE ALTERNADORES*. Santo André: Monografia Fatec Santo Aandré.

FITZGERALD, A. E. (2014). *Máquinas Elétricas (7ª Edição ed.)*. Editora Bookman.

Robert Bosch GmbH. (1998). *Alternadores (Vol. 4ª Edição)*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.

Robert Bosch GmbH. (2009). *Catalogo Alternadores, Motores de Partida*.

WEG. (2013). *Manual do Inversor de Frequência CFW-10*.

Anexo

Equipamentos utilizados:

Daq (USB 6009): que possui 8 entradas e 2 saídas análogicas, e 12 I/O digitais.

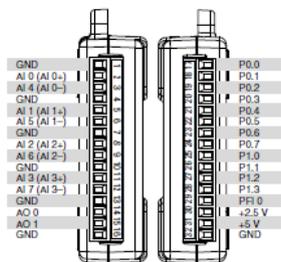


Table 5. Signal Descriptions

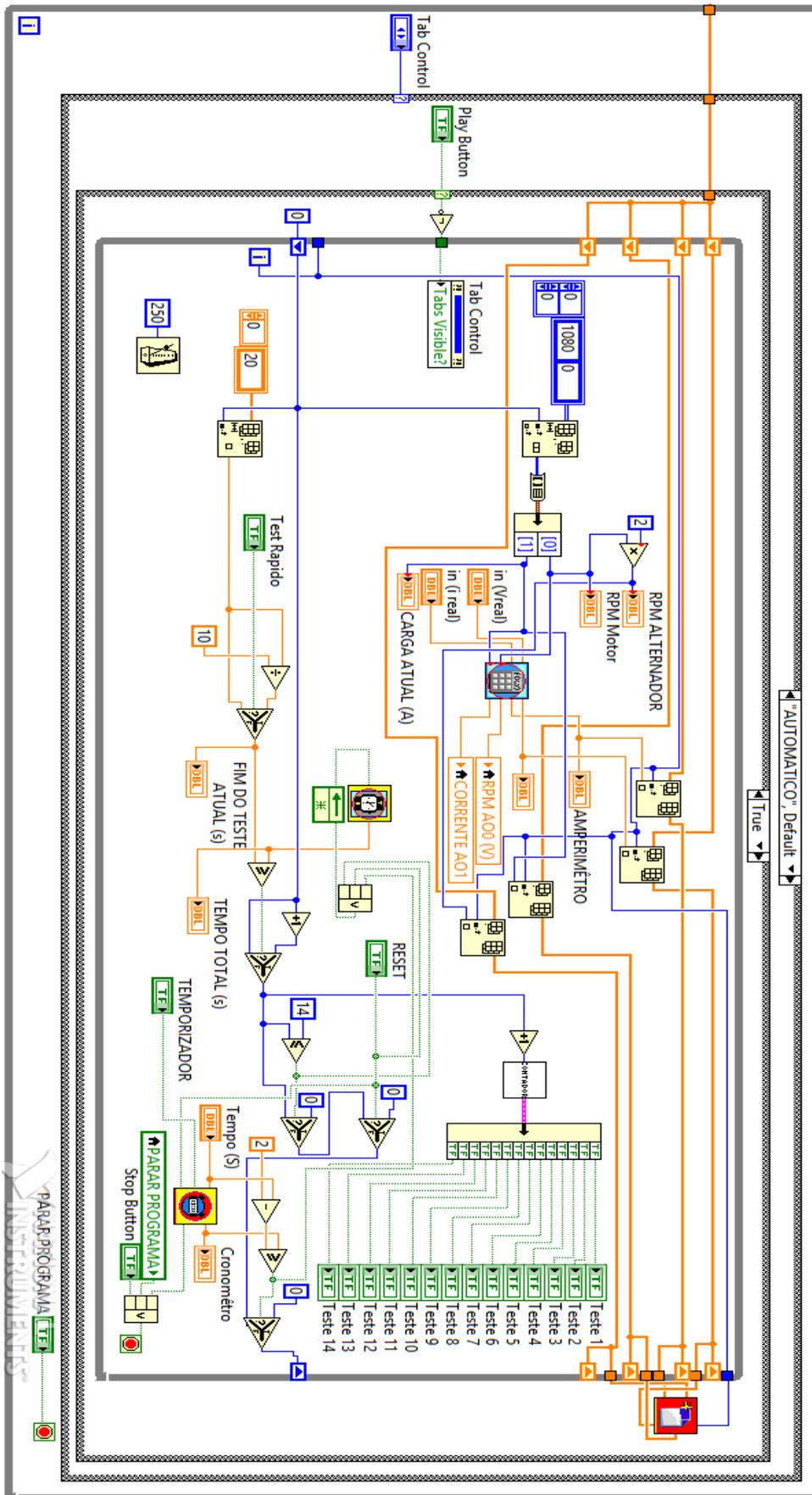
Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI <1, 5>, AI <2, 6>, and AI <3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.

Table 5. Signal Descriptions (Continued)

Signal Name	Reference	Direction	Description
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the <i>Analog Output</i> section for more information.
P0 <0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
P1 <0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the <i>PFI 0</i> section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the <i>+2.5 V External Reference</i> section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the <i>+5 V Power Source</i> section for more information.

PC (notebook) com sistema operacional Windows 10, e software Labview Home and Student Edition 2016.

Diagrama de blocos do modo automático.





A National Instruments homologou nesta sexta-feira (26 de janeiro de 2018) o resultado final do Latin America Engineering Impact Awards. É com grande satisfação que a NI divulga o resultado da avaliação dos artigos submetidos ao 1º concurso em nível América Latina. Confira abaixo os trabalhos premiados:

Ranking		Indústria e Pesquisa	Acadêmico
América Latina	1º lugar	Modernização de instrumentos para célula de teste de motores a jato (FAB)	Hardware-in-the-loop para teste dinâmico de alternadores automotivos (FATEC)
Brasil	1º lugar	Instrumentação para monitoramento e análise de descargas parciais (CEPEL)	Projeto internacional Brasil/Colômbia para a integração estudantil (IFSP)
	2º lugar	Banco de testes de turbo-bombas de foguetes com PXIe & VeriStand (IAE)	Implementação de uma estação rádio base para situações de emergência (IME)
	3º lugar	Linha de transmissão de energia experimental automatizada para ensaios mecânicos em condições reais (LACTEC)	Sistema de monitoramento e controle baseado na web aplicado a um sistema soft robotics usando myRIO e LabVIEW (IFSP)

Premiação

Todos os vencedores receberão uma placa de homenagem com a posição alcançada no concurso. Além disso, será oferecida a premiação abaixo:

Prêmiação		Indústria e Pesquisa	Acadêmico
América Latina	1º lugar	1 viagem ao NI Week*	3 myRIO Student Embedded Devices
Brasil	1º lugar	1 ano de acesso ao treinamento online	1 LabVIEW Student License
	2º lugar	1 ano de acesso ao treinamento online	1 LabVIEW Student License
	3º lugar	1 ano de acesso ao treinamento online	1 LabVIEW Student License

*A viagem para o NIWeek inclui passagens aéreas de ida e volta, hospedagem e o registro na conferência.

Os vencedores também poderão ser citados nas redes sociais, eventos e e-mails da NI. Para os participantes da categoria **Indústria e Pesquisa** há a possibilidade de reconhecimento global por meio da submissão do estudo de caso (em inglês) para o Engineering Impact Awards global.

Parabéns a todos os participantes!