

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANTONIO CARLOS WALT

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA UM KART
ELÉTRICO**

JOINVILLE, SC

2019

ANTONIO CARLOS WALT

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA UM KART
ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Joselito Anastácio Heerdt

JOINVILLE, SC

2019

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA UM KART ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito final para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora

Orientador:

Dr. Joselito Anastácio Heerdt
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membro:

Me. Eng. Stefano Romeu Zeplin
Instituto federal de Santa Catarina - IFSC

Membro:

Dr. Sérgio Vidal Garcia Oliveira
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Joinville, SC, 28/06/2019

AGRADECIMENTOS

Ao professor Joselito, pela orientação e dedicação.

A equipe do projeto VELLEV por ceder o veículo para realização deste trabalho.

Ao nPEE, pela estrutura laboratorial.

Aos companheiros do nPEE, pela ajuda e suporte.

À minha família, especialmente, aos meus pais, Antonio e Catarina por todo apoio e compreensão durante minha vida acadêmica.

Aos amigos que adquiri durante a graduação.

À UDESC, pelo conhecimento.

A Deus.

" Os dias prósperos não vêm por acaso. Nascem de muito trabalho e persistência."
(Henry Ford).

RESUMO

WALT, Antonio Carlos. **Desenvolvimento de um sistema de sensoramento remoto para um kart elétrico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica – Área: Eletrônica) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2019.

O trabalho proposto se baseia no desenvolvimento de um sistema de sensoramento remoto para um veículo elétrico do tipo kart da equipe VELLEV-UDESC. São estudados e implementados os sensores necessários para medir adequadamente as grandezas referentes ao sistema de tração composto pela bateria, conversor e o motor c.c. do veículo. O sistema é capaz de obter a temperatura, corrente e tensão nas baterias e no motor quando em operação. Também é obtida a velocidade do veículo. O sistema de telemetria proposto para o kart possui um microcontrolador Arduino Mega® que faz o processamento e interpretação dos dados recebidos. Cada um dos sensores conta com um circuito de condicionamento de sinais alocados em uma mesma placa de circuito impresso que convertem sua saída, podendo ser elas em tensão ou corrente, para valores de tensão que possam ser lidos na entrada do microcontrolador. O sistema faz a comunicação com um Laptop que receberá os dados via comunicação *wireless*, utilizando um módulo de rádio frequência. Os dados recebidos passam por um tratamento via software LabVIEW®, apresentando uma interface simples e de fácil interpretação. Também é utilizado um módulo com cartão SD para armazenamento dos dados amostrados, que permite uma maior taxa de amostragem dos sinais. Estes dados podem ser visualizados posteriormente através de gráficos gerados em Excel® ou outra ferramenta adequada, para análise de desempenho do veículo. O sistema de telemetria também possui um *display* LCD para informação do piloto, quanto ao valor da velocidade do veículo.

Palavras-chave: sensoramento remoto, veículo elétrico, wireless, Arduino Mega®, kart, VELLEV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Esquemático de um sistema de telemetria.....	16
Figura 1.2 – Kart da equipe VELLEVa	17
Figura 2.1 - Diagrama do sistema de tração.....	19
Figura 2.2 - Conversor c.c.-c.c. reversível em corrente.....	19
Figura 2.3 - Interruptor S1 comutando	20
Figura 2.4 - Forma de onda em modo de tração	20
Figura 2.5 - Interruptor S2 comutando	21
Figura 2.6 - Formas de onda em modo de frenagem regenerativa	21
Figura 2.7 - Formas de onda para S1 e S2 comutando alternadamente	21
Figura 2.8 – Diagrama esquemático conversor do Kart elétrico.....	22
Figura 2.9 – Bateria Moura 12MN63	23
Figura 2.10 - Motor Motoenergy ME0909	24
Figura 2.11 - Curva característica do motor c.c. de ímãs permanentes modelo ME0909.....	25
Figura 3.1 - Diagrama de sensoriamento remoto do veículo	26
Figura 3.2 - Sensor de temperatura LM35D.	27
Figura 3.3 - Sensor Hall LA 130P da LEM®	28
Figura 3.4 - Módulo encoder MOCH22A da Junye®	29
Figura 3.5 - Arduino MEGA®	31
Figura 3.6 - Módulo Wireless SV651 da NiceRF®.....	33
Figura 3.7 - Diagrama módulo SV651 da NiceRF®.....	34
Figura 3.8 - Módulo de recepção do SV651	34
Figura 3.9 - Paleta de controle LabVIEW®.....	36
Figura 3.10 - Paletas numérico, booleano e gráfico.	37
Figura 3.11 - Itens da paleta numérico	37
Figura 3.12 - Itens paleta booleano	37
Figura 3.13 - Gráfico de onda	38
Figura 3.14 - Paleta de funções	38
Figura 3.15 - Blocos de comunicação serial	39
Figura 4.1 - Circuito de condicionamento do sensor de temperatura.....	42
Figura 4.2 - Saída do circuito de condicionamento variando de 25°C a 100°C.....	42
Figura 4.3 - Circuito para condicionamento de corrente do sensor Hall.....	43
Figura 4.4 - Circuito para geração da tensão de referência	44
Figura 4.5 - Saída do circuito gerador da tensão de referência.....	44
Figura 4.6 - Saída do circuito de condicionamento do Hall de -130A até 130A	45
Figura 4.7 - Análise do filtro de corrente	45
Figura 4.8 - Circuito de condicionamento de tensão nas baterias.....	47
Figura 4.9 - Resultado do circuito de condicionamento de tensão	48
Figura 4.10 - Circuito de condicionamento de tensão do motor	48
Figura 4.11 - Saída do circuito de condicionamento de tensão do motor.....	49
Figura 4.12 - Análise em frequência filtro RC	49
Figura 4.13 - Diagrama com os pontos de medição no conversor.	50
Figura 5.1 - Layer superior da placa de circuito impresso	51
Figura 5.2 - Layer inferior da placa de circuito impresso	52
Figura 5.3 - Bancada de testes	54
Figura 5.4 - Leituras para bateria 1	56
Figura 5.5 - Leituras para bateria 2	56
Figura 5.6 - Leituras para bateria 3	56
Figura 5.7 - Leituras para bateria 4	57

Figura 5.8 - Leituras no motor	58
Figura 5.9 - Leituras temperaturas no LabVIEW®.	59
Figura 5.10 - Teste do filtro RC	60
Figura 5.11 - Teste do filtro da corrente da bateria	62
Figura 5.12 - Corrente nas baterias no LabVIEW®.....	62
Figura 5.13 - Programação visual em LabVIEW® da interface virtual remota.	63
Figura 5.14 - VISA configure serial port	64
Figura 5.15 - Blocos para leitura e escrita na serial	64
Figura 5.16 - Match Pattern Function	65
Figura 5.17 - Decimal String to Number Function	65
Figura 5.18 - Interface gráfica	66
Figura 5.19 - Módulo SD de aquisição de dados	68
Figura 5.20 - Tensão amostrada e a sua média móvel.....	68
Figura 5.21 - Corrente amostrada e a sua média móvel	69
Figura 5.22 - Planilha de dados gerada no Excel®.....	69
Figura 5.23 - Gráficos da aquisição de dados gerados no Excel®	70
Figura 5.24 - Diagrama de blocos da programação do Arduino para as medições no veículo.	71
Figura 5.25 - Diagrama de blocos da programação do Arduino para as medições com módulo de cartão SD.	72
Figura A-1 - Layout inferior da placa de circuito impresso.....	75
Figura A-2 - Serigrafia inferior da placa de circuito impresso	76
Figura A-3 - Layout superior da placa de circuito impresso	77
Figura A-4 - Serigrafia superior da placa de circuito impresso	78
Figura B-1 - Vista inferior placa industrial.....	79
Figura B-2 - Vista superior placa industrial.....	80
Figura C-1 - Drivers para módulo RF	81
Figura C-2 - Janela de instalação do driver	81
Figura C-3 - Janela de configuração do módulo RF	82
Figura D-1 - Circuito de simulação para o condicionamento de tensão nas baterias.....	83
Figura D-2 - Circuito de simulação para o condicionamento da corrente nas baterias e no motor	84
Figura D-3 - Circuito de simulação para o condicionamento de tensão no motor	84
Figura D-4 - Circuito de simulação para o condicionamento de temperatura nas baterias	85
Figura E-1 - Configuração <i>VISA serial</i> e <i>VISA Set I/O Buffer Size Function</i>	86
Figura E-2 - Configuração <i>VISA read</i>	86
Figura E-3 - Configuração dos blocos <i>Match Pattern Function</i> e <i>Decimal String To Number Function</i>	87
Figura E-4 - Configuração dos blocos matemáticos para linearização dos dados e mostradores gráficos	87
Figura E-5 - Configuração dos blocos para gerar o alarme.	88
Figura H-1 - Display LCD 16x2 para apresentar velocidade do kart para o piloto	91
Figura I-1 - Código para configurações no Arduino Mega® com o módulo RF	93
Figura I-2- Código do setup no Arduino Mega® com o módulo RF	93
Figura I-3 - Código principal no Arduino Mega® com o módulo RF	94
Figura I-4 - Código para cálculo da velocidade no Arduino Mega® com o módulo RF	95
Figura I-5- Código para escrever a velocidade no <i>display</i> LCD 16x2.....	95
Figura J-1 - Código para configuração do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD.....	96
Figura J-2 - Código do <i>setup</i> do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD	97
Figura J-3 - Código principal do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD	98
Figura K-1 - Curvas geradas em Excel®.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Especificações da bateria 12MN63.....	23
Tabela 2.2 - Dados motor ME0909	24
Tabela 3.1 - Portas utilizadas no Arduino.....	30
Tabela 5.1 - Dados retirados em bancada da bateria 1	54
Tabela 5.2 - Dados retirados em bancada da bateria 2	55
Tabela 5.3 - Dados retirados em bancada da bateria 3	55
Tabela 5.4 - Dados retirados em bancada da bateria 4	55
Tabela 5.5 - Dados retirados em bancada do circuito do motor	57
Tabela 5.6 - Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 1.....	58
Tabela 5.7 - Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 2.....	59
Tabela 5.8 - Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 3.....	59
Tabela 5.9 - Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 4.....	59
Tabela 5.10 - Dados retirados em bancada do sensor de corrente do motor.....	61
Tabela F-1 - Conexões do módulo RF no Arduino Mega®	89
Tabela G-1 - Conexões do módulo de cartão micro SD no Arduino Mega®.	90
Tabela H-1 - Conexões do display LCD 16x2 no Arduino Mega®	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RF	Rádio Frequência
C.C.-C.C.	Corrente Contínua - Corrente Contínua
VELLEV	Projeto de Ensino intitulado Veículo Elétrico Leve
ADC	<i>Analog Digital Converter</i> (Conversor Analógico-digital)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
GFSK	<i>Gaussian Frequency-Shift Keying</i>
FSK	<i>Frequency-Shift Keying</i>
SCI	<i>Serial Communications Interface</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
McBSP	<i>Multichannel Buffered Serial Port</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
DSC	<i>Digital Signal Controller</i>
ASCII	<i>America Standard Code for Information Interchange</i>
CMRR	Common Mode Rejection Ratio

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo

Grandezas

V_o	Tensão de saída
V_i	Tensão de entrada
f_c	frequência de corte
Lb	libra
m	metro
λ	Comprimento de onda
c	Velocidade da luz
f	frequência

Unidades de medida

V	Volt (unidade de tensão)
A	Ampère (unidade de corrente)
W	Watt (unidade de potência)
°C	Grau Celsius (unidade de temperatura)
Lbf.in	Libra força polegada (unidade de torque)
Hz	Hertz (unidade de frequência)
Kg	Quilograma (unidade de massa)
Ah	Ampère-hora (unidade de carga elétrica)
hp	<i>horse power</i> (unidade de potência)
rpm	rotações por minuto (unidade de velocidade angular)
N.m	Newton metro (unidade de torque)
dB	decibel

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.2 CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO	18
2 COMPONENTES ELÉTRICOS DO KART	19
2.1 CONVERSOR.....	19
2.2 BATERIAS	22
2.3 MOTOR	23
3 COMPONENTES PARA O SENSORIAMENTO REMOTO DO VEÍCULO	26
3.1 SENSORES.....	26
3.1.1 Sensor de temperatura	26
3.1.2 Sensor de efeito Hall.....	27
3.1.3 Sensor de velocidade	28
3.2 MICROCONTROLADOR	29
3.3 COMUNICAÇÃO SERIAL.....	31
3.4 COMUNICAÇÃO WIRELES	32
3.4.1 Transmissão em rádio frequência.....	32
3.4.2 Módulo de rádio frequência	33
3.5 LM 358.....	35
3.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA.....	36
4 CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO DE SINAL	40
4.1 FILTRO ANTI-ALIASING	40
4.2 CONDICIONAMENTO DOS SINAIS DO SENSOR DE TEMPERATURA	41
4.3 CONDICIONAMENTO DE CORRENTE	42
4.3.1 Análise em frequência do filtro.....	45
4.4 CONDICIONAMENTO DE TENSÃO NAS BATERIAS	46
4.5 CONDICIONAMENTO DE TENSÃO NO MOTOR.....	48
4.6 ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO FILTRO RC.....	49
4.7 DIAGRAMA DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO CONVERSOR.....	50
5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS	51

5.1	PLACA DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS	51
5.2	LEITURA DO ADC DO MICROCONTROLADOR	52
5.3	TESTES REALIZADOS EM BANCADA.	53
5.3.1	Tensão nas baterias	54
5.3.2	Tensão no motor	57
5.3.3	Condicionamento de temperatura.	58
5.3.4	Filtro RC.	59
5.3.5	Sensor LA 150P.	60
5.3.6	Condicionamento de corrente no motor.	61
5.3.7	Condicionamento de corrente nas baterias.....	61
5.4	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA.	63
5.5	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	67
5.6	PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ARDUINO.	70
6	CONCLUSÕES GERAIS	73
6.1	TRABALHOS FUTUROS.	73
	APÊNDICES.....	75
	APÊNDICE A Layout final da placa com os circuitos de condicionamento	75
	APÊNDICE.B Placa industrial	759
	APÊNDICE C Configuração do módulo wireless	81
	APÊNDICE.D Circuitos simulados	83
	APÊNDICE E Layout final da placa com os circuitos de condicionamento	86
	APÊNDICE.F Interface em LabVIEW®	89
	APÊNDICE G Conexões módulo wireless no Arduino Mega®.....	90
	APÊNDICE.H Display LCD para leitura da velocidade.....	91
	APÊNDICE.I Código para Arduino com módulo de Rádio Frequência.....	93
	APÊNDICE J Código para Arduino com módulo SD	96
	APÊNDICE.K Interface em Excel®	99
	REFERÊNCIAS	100
	ANEXOS.....	102

1 INTRODUÇÃO

Os veículos de transportes utilizados na atualidade são o produto de modificações realizadas desde suas origens para atender requisitos como maior conforto e segurança para o homem [1]. Os veículos elétricos apresentam diversas vantagens em relação aos veículos com motores a combustão, podendo ser citado principalmente a não produção de resíduos e poluentes, maior eficiência, pois possui tecnologias como o conversor bidirecional, que permite frenagem regenerativa, possuem uma mecânica mais simples, não apresentam muita necessidade de manutenção, além de gerarem menos ruído audível.

Em todo veículo automotivo é necessário que haja o acompanhamento de algumas grandezas como por exemplo a velocidade, nível de combustível e autonomia, para o conforto dos passageiros, sua segurança e maior desempenho. Para esta finalidade os veículos apresentam conjuntos de sensores e mostradores, que permitem manter o piloto informado sobre a situação atual do veículo.

Quando aplicado a veículos de competição é comum a utilização de um sistema de telemetria para aquisição dos dados, uma vez que uma equipe fica responsável pela avaliação do desempenho do veículo.

A palavra telemetria tem sua origem do grego, formada pela junção das palavras *tele* (longe) e *meter* (medir) assim telemetria pode ser definida como a realização de medições à distância, ou em local remoto. Sua aplicação também é feita quando o local não permita a presença do homem, sendo um exemplo disto medições em um túnel supersônico, que não deve um homem realizar medidas neste ambiente. Pode-se então conceituar o termo remoto além de grandes distâncias, como para ambientes diferentes [2].

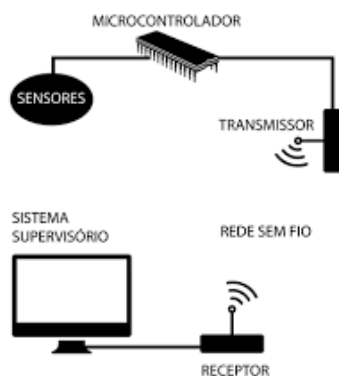
Em veículos automotivos o monitoramento realizado pelo sistema de telemetria comumente utiliza uma tecnologia de transmissão de dados via sistemas de Rádio Frequência.

Os sistemas de telemetria tipicamente são compostos por sensores que medem os parâmetros físicos do dispositivo, um circuito para executar o condicionamento do sinal de dados para grandezas que possam ser lidas por um microcontrolador, este envia os dados para uma estação remota via *wireless* (sem fio). A estação possui um sistema de processamento e visualização de dados. Estes sistemas geralmente são utilizados para medição em tempo real, porém também há a

possibilidade de haver o armazenamento dos dados para uma análise *off-line* (onde dados previamente adquiridos). [3]

A figura 1.1 apresenta o diagrama simplificado de um sistema de telemetria.

Figura 1.1. Esquema de um sistema de telemetria.



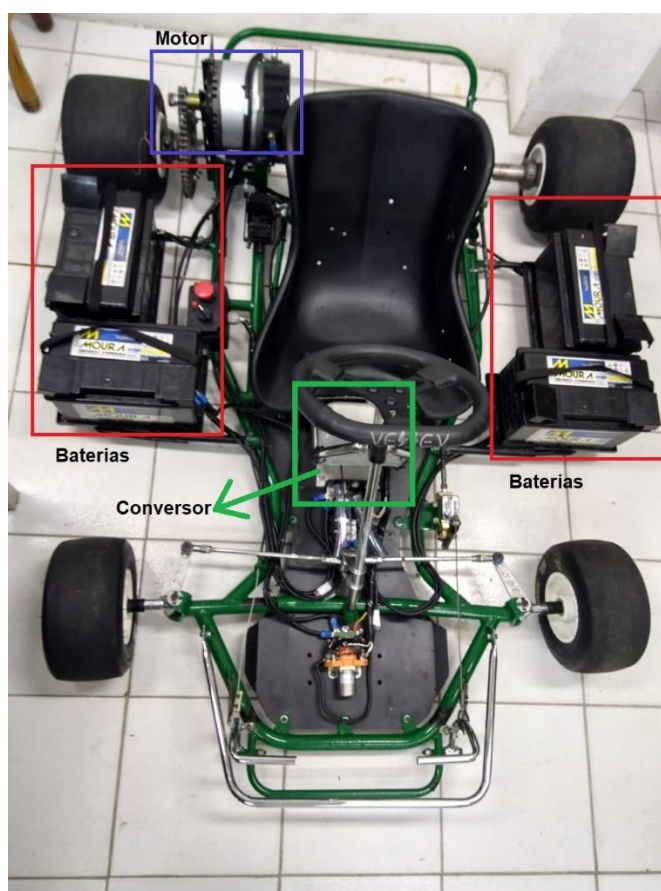
Fonte: [6].

A telemetria é utilizada em veículos de fórmula 1, onde um conjunto de sensores faz a aquisição dos dados, e os envia para o sistema supervisorio nos boxes para que sejam analisados.[4]

Como o kart elétrico desenvolvido pela equipe VELLEV (Projeto de Ensino Veículo Elétrico Leve), tem características de um veículo de competição, é preciso que se possa analisar seu desempenho quanto ao conversor eletrônico, motor elétrico e baterias, propondo melhorias contínuas. Assim este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema que seja capaz de suprir as necessidades de monitoramento existentes do veículo.

O veículo utilizado pela equipe está apresentado na Figura 1.2 apontando suas principais partes que serão alvos do desenvolvimento do trabalho.

Figura 1.2. Kart da equipe VELLEV.



Fonte: Próprio autor.

1.1 OBJETIVOS

Esta seção apresenta os objetivos gerais e específicos, assim como as contribuições deste projeto para o veículo e sistemas de telemetria anteriores que foram base de pesquisa para este trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de sensoriamento remoto para o kart elétrico da equipe VELLEV, visando atender as necessidades básicas de monitoramento do veículo, de modo a ser um sistema de fácil operação, e que possa ser modificado e expandido em futuras melhorias do veículo.

1.1.2 Objetivos específicos

Este trabalho tem o intuito de desenvolver um sistema que permita o monitoramento das grandezas do kart elétrico em um computador, à distância, com a utilização de um sistema de comunicação *wireless*. Serão medidas as seguintes grandezas:

- Tensão e corrente em cada uma das quatro baterias do banco de baterias;
- Tensão e corrente do motor;
- Temperatura de cada uma das quatro baterias do banco;
- Velocidade do veículo.

Os dados serão recebidos do veículo em um Laptop via comunicação *wireless*, onde serão processados e mostradas em uma interface visual em LabVIEW®, para que se possa avaliar o seu desempenho em tempo real, durante os testes de pista.

1.2 CONTRIBUIÇÕES DESTE TRABALHO

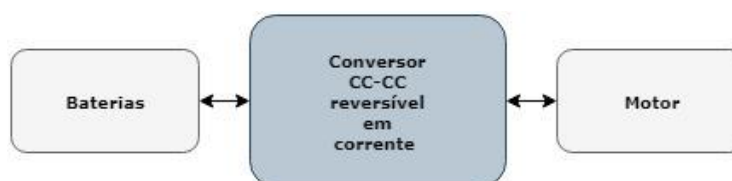
O desenvolvimento deste trabalho permitirá um estudo mais detalhado do desempenho dos componentes do veículo, como a bateria e o motor. Ele também conta com a construção de uma placa física para instalação no kart a ser utilizada nos testes.

O sistema é construído com base em um trabalho já desenvolvido por Neto (2017), contudo várias melhorias foram aplicadas, podendo ser citados melhores circuitos de condicionamento de sinal, com amplificadores e filtros *anti-aliasing*. Foi desenvolvida uma interface com o software LabVIEW®, e uma única placa de circuito impresso com um *layout* e adequações para a aplicação do condicionamento de sinais.

2 COMPONENTES ELÉTRICOS DO KART

Neste capítulo serão abordados os componentes de tração do veículo, os quais serão monitoradas pelo sistema de sensoriamento. O diagrama de blocos dos componentes é apresentado a seguir, juntamente com o sentido de transferência de energia, que pode ser bidirecional, indo da bateria para a carga ou vice-versa.

Figura 2.1. Diagrama de blocos do sistema de tração.

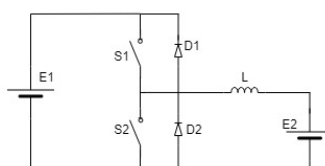


Fonte: Próprio autor.

2.1 CONVERSOR

Para o controle de velocidade do veículo é utilizado um conversor c.c.- c.c. não isolado reversível em corrente, operando em modo de condução contínua. Possui operação em dois quadrantes, ou seja, a corrente flui da bateria para a carga durante a tração e da carga para a bateria durante a frenagem regenerativa. A topologia é apresentada na Figura 2.2, onde o indutor L e a fonte E_2 representam o motor c.c. do veículo. S_1 e S_2 representam o conjunto dos quatro (4) interruptores que juntos compõem um braço meia ponte. A fonte E_1 representa a associação série das quatro baterias.

Figura 2.2. Conversor c.c.- c.c. reversível em corrente.

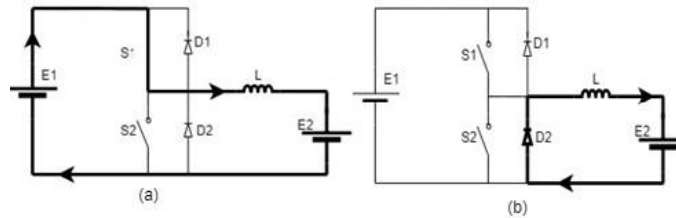


Fonte: Adaptado de [5].

Atuando no modo de tração a interruptor S_1 se mantém comutando e o interruptor S_2 se mantém aberto. Com o fechamento de S_1 a fonte alimenta a carga, e quando o interruptor abre, o diodo de roda livre D_2 passa a conduzir, através da

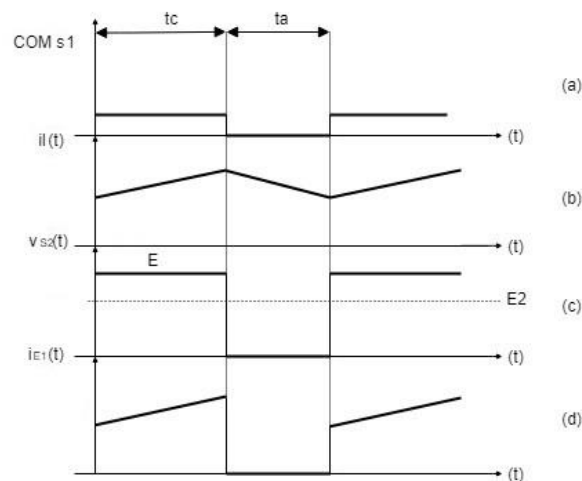
energia armazenada no indutor durante a primeira etapa. As Figuras 2.3 e 2.4 apresentam as etapas de funcionamento e as formas de onda.

Figura 2.3. Interruptor S1 comutando. (a) interruptor S1 fechado. (b) interruptor S1 aberto.



Fonte: Adaptado de [5].

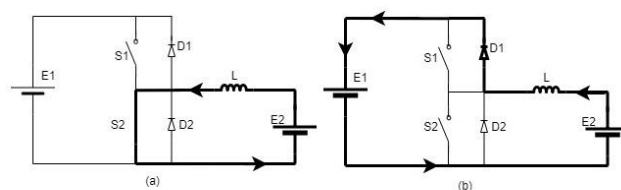
Figura 2.4. Forma de onda em modo de tração. (a) Acionamento interruptor. (b) Corrente na carga. (c) Tensão no interruptor S2. (d) Corrente da bateria.



Fonte: Adaptado de [5].

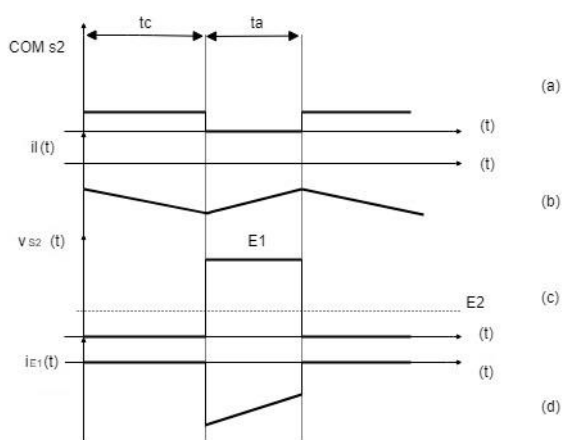
Quando atuando no modo de frenagem regenerativa o interruptor S1 é mantido aberto, e o S2 varia sua razão cíclica até que nele seja imposta uma tensão média ligeiramente menor que a tensão na carga E2. Com o fechamento de S2 a corrente na carga flui acumulando energia na indutância. Quando a chave abre a energia circula pelo diodo D1 no sentido da fonte de alimentação. As Figuras 2.5 e 2.6 apresentam as etapas de funcionamento e a forma de onda.

Figura 2.5. Interruptor S2 comutando. (a) Interruptor S2 fechando. (b) Interruptor S2 aberto.



Fonte: Adaptado de [5].

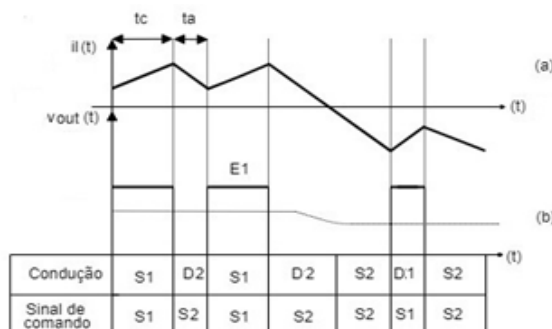
Figura 2.6. Formas de onda em modo de frenagem regenerativa. (a) Comutação da chave S2. (b) Corrente da carga. (c) Tensão no interruptor S2. (d) Corrente na bateria.



Fonte: Adaptado de [5].

Pode-se também utilizar os interruptores S1 e S2 comutando complementarmente, que é o modo mais utilizado, apenas mantendo um “tempo-morto” entre as trocas de estado. Neste modo é possível a inversão da corrente de forma suave e sem descontinuidade [5]. As formas de onda são mostradas na Figura 2.7.

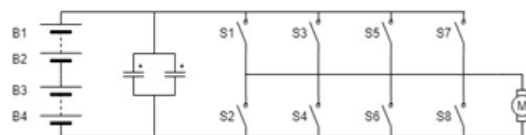
Figura 2.7. Formas de onda para S1 e S2 comutando complementarmente. (a) Corrente na carga. (b) Tensão na carga.



Fonte: Adaptado de [5].

O conversor projetado para o kart VELLEV utiliza oito (8) MOSFETs, agrupados em grupos de 4 em paralelo, conforme mostrado na Figura 2.8. Isso permite uma menor corrente em cada interruptor, aumentando a capacidade total de corrente do conversor.

Figura 2.8. Diagrama esquemático conversor do Kart elétrico.



Fonte: Próprio autor

2.2 BATERIAS

As baterias são componentes internos constituintes tanto em veículos elétricos como nos veículos de combustão interna, porém possuem funções diferentes em cada um deles [6].

Segundo Castro e Ferreira (2010), os principais tipos de baterias utilizadas em veículos automotivos são:

- chumbo-ácido (PbA): embora muito usadas em veículos a combustão, como fonte de alimentação de circuitos auxiliares, podem ser usadas para fins de tração, porém possuem elevado peso e curto ciclo de vida;
- níquel-hidreto metálico (NiMH): possuem as vantagens de elevada confiabilidade, assim como uma vida útil estimada em 10 anos, porém possuem desvantagens como por exemplo um custo elevado. [7];
- sódio: possui a vantagem de não possuir materiais tóxicos, porém precisa de aquecimento a temperaturas próximas de 270 °C para operar, o que acarreta um consumo maior de energia [6];
- íon-lítio: são compostas por uma família de baterias, cada uma possui suas vantagens e desvantagens, mas no geral possuem mais capacidade por volume, são mais eficientes quando comparada com as de níquel-hidreto metálico. Como desvantagens temos a menor segurança pois são susceptíveis a explosão, performance em temperaturas extremas e apesar de possuir um custo do metal mais barato seu custo total é mais elevado [6];

O veículo elétrico utilizado pela equipe VELLEV é alimentado por 4 módulos de baterias estacionárias do modelo Moura 12MN63 conectadas em série apresentado na Figura 2.9. Suas especificações são apresentadas na Tabela 2.1.

Figura 2.9. Bateria Moura 12MN63.



Fonte: superbaterias.com.br. Disponível em:

<<http://www.superbaterias.com.br/Assets/Produtos/Gigantes/moura1263.jpg>> Acesso em 18 out. 2018

Tabela 2.1. Especificações bateria 12MN63.

Modelo	12MN63
Tensão nominal	12V
Células	Chumbo-ácido
Capacidade(C20)	63Ah
Peso	16,1Kg
Resistência interna	5 mOhm
Tensão de flutuação (25 °C)	13,2 – 13,38 V
Tensão de equalização (25 °C)	14,16 – 14,40 V

Fonte: superbaterias.com.br. Disponível em:

<<http://www.superbaterias.com.br/Assets/Produtos/Gigantes/moura1263.jpg>> Acesso em 18 out. 2018

2.3 MOTOR

Em consequência de os motores de corrente contínua atenderem bem os requisitos de tração do veículo elétrico, possuindo alto torque em baixas velocidades e como o controle de velocidade é bastante simples, uma vez que é controlada com a variação da tensão, esses motores são frequentemente utilizados em sistemas de propulsão elétrica. Para a aplicação de motores elétricos em tração veicular algumas

características são importantes e podem ser restritivas, tais como: a sua velocidade máxima, torque elevado e constante, volume e peso reduzido.

O motor utilizado no veículo é o modelo ME0909 da Motenergy, um motor de corrente contínua com escovas e ímãs permanentes no campo, representado na Figura 2.10. A Tabela 2.2 mostra as características do motor.

Figura 2.10. Motor Motoenergy ME0909.



Fonte. Motoenergy Me0909 Disponível em:< <http://www.motenergy.com/me0909.html>>

Acesso em 13 out. 2018.

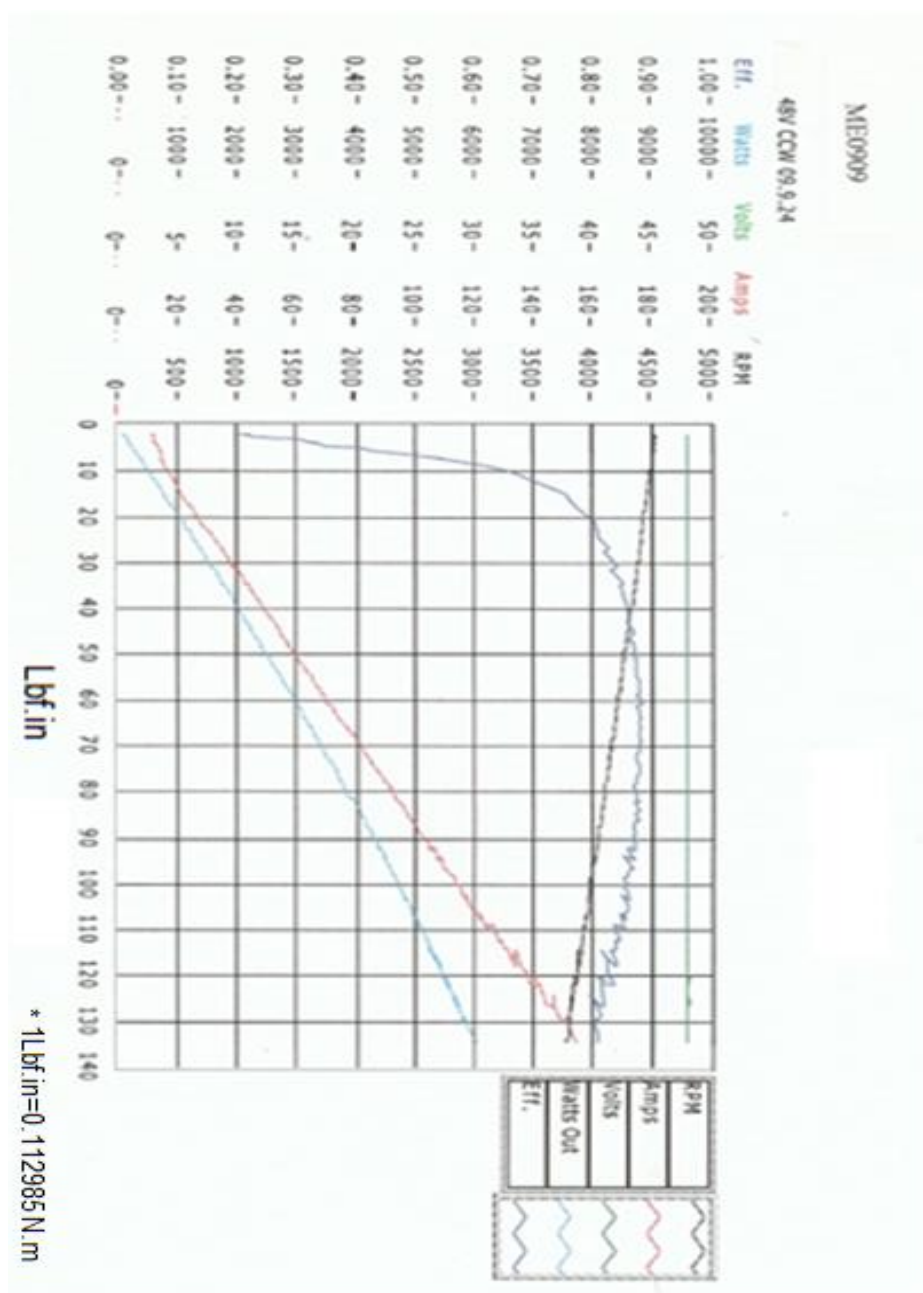
Tabela 2.2. Dados motor Me0909.

Modelo	ME0909
Tipo	Escovas e ímãs permanentes
Tensão nominal	24V
Tensão máxima	48V
Corrente máxima	100A contínuo e 300A por 30 segundos
Potência	4,8hp
Velocidade	3984 rpm (a 48V)

Fonte: Próprio Autor, 2018.

A Figura 2.11 apresenta o gráfico da curva de ensaio fornecida pelo fabricante quando o motor se encontra conectado a uma tensão de 48V. Nele é apresentado a corrente, eficiência, potência e rotação do eixo do motor em função do torque em Lbf.in (libra força. polegada). Pode-se verificar que o motor possui uma eficiência máxima de aproximadamente 88%, para um torque de carga de 70 Lbf.in (aproximadamente 7,91 N.m). Neste ponto o motor estará exigindo uma corrente de 80A e consumindo uma potência de aproximadamente 3500W, com rotação de 4150 rpm. Com um torque de carga de 100 Lbf.in o motor apresentará uma rotação de 4000 rpm, potência de 4750W e corrente de 115A.

Figura 2.11. Curva característica do motor c.c. de ímãs permanentes, modelo ME0909.



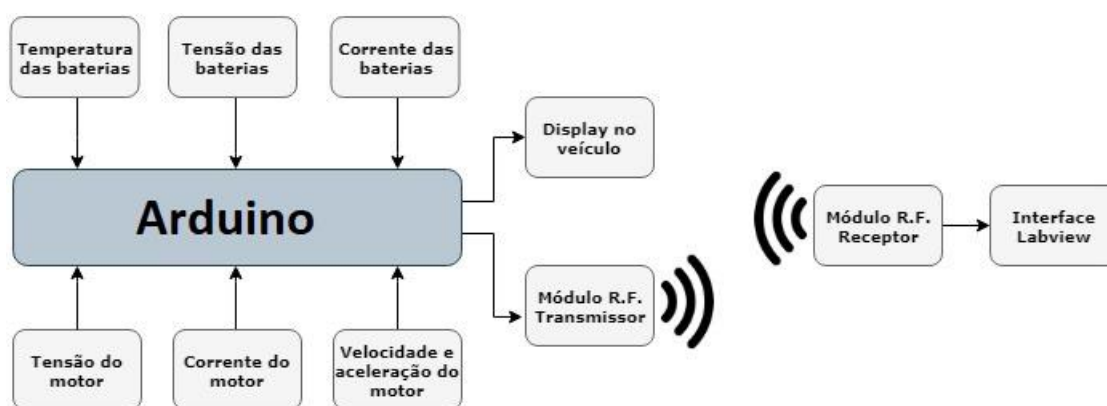
Fonte: Eletricmotorsport.com. Disponível em:

<https://www.electricmotorsport.com/downloads/dl/file/id/1/product/7/me0909_performance_curves.pdf>. Acesso em 13 out. 2018.

3 COMPONENTES PARA O SENSORIAMENTO REMOTO DO VEÍCULO

Este capítulo apresenta os sensores utilizados para monitoramento das grandezas, no motor e baterias, assim como o módulo para comunicação RF (rádio frequência) e o *software* de interface homem-máquina utilizado. O digrama da figura representa o sistema de sensoriamento remoto com o fluxo de dados a serem lidos e enviados via *wireless*.

Figura 3.1. Diagrama de sensoriamento remoto do veículo.



Fonte: Próprio autor

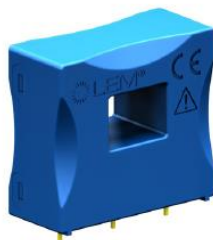
3.1 SENSORES

São apresentados nas subseções seguintes os sensores escolhidos para as medições das grandezas do sistema de telemetria.

3.1.1 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura a ser utilizado será o LM35D que pode ser alimentado de 4V a 30V, e possui uma corrente quiescente de alimentação que varia de 100uA a 130uA quando submetido a temperaturas de 25 °C a 100 °C respectivamente. Este sensor possui uma saída linear de 10mV/°C, podendo atuar em temperatura de 0 até 100 °C, e um erro que pode chegar a 1,5 °C positivos em temperatura ambiente e sobe gradativamente até um erro de 2 °C positivos quando a temperatura máxima de 100 °C. O sensor será instalado externamente no ponto de maior aquecimento da

Figura 3.3. Sensor hall LA 130P da LEM®.



Fonte: currence transducer LA 130-P. Disponível em:

<https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/la_130-p_new.pdf>. Acesso em 18 out. 2018.

3.1.3 Sensor de velocidade

A medição da velocidade do veículo é realizada por um módulo encoder.

Encoders são transdutores que convertem movimento angular ou linear em uma série de pulsos digitais. Os pulsos servem para determinar a velocidade, aceleração, distância, rotação e posição [Tomaschitz, 2013].

Os encoders podem ser rotativos, onde para cada incremento de rotação, gera-se um pulso, ou lineares em que o pulso é emitido para um certo deslocamento linear. Quando utilizado para medições de velocidade é necessário computar o número de pulsos durante um intervalo tempo, e relacionar com o a velocidade de rotação ou a distância percorrida.

O encoder incremental possui uma construção simples. Um feixe de luz, emitido a partir de um LED, passa através de ranhuras em um disco e é detectado por um sensor de luz, tal como um fotodiodo ou foto transistor. Quando o disco gira, o feixe de luz é transmitido e alternadamente são interrompidos, e assim um pulso na saída produzido a partir do sensor de luz [Tomaschitz, 2013].

Neste trabalho optou-se por utilizar um encoder óptico que é bastante preciso.

O módulo escolhido é apresentado na Figura 3.4, composto por um encoder MOCH22A e um comparador LM393 (os *datasheets* são apresentados no Anexo C), podendo operar com tensão de alimentação de 3,3V até 5V.

Figura 3.4. Módulo encoder MOCH22A da Junye®.



Fonte: Arduinoecia.com. Disponível em: < <https://www.arduinoAecia.com.br/2016/02/sensor-de-velocidade-lm393-arduino.html> >. Acesso em 18 out. 2018out. 2018.

A escolha do encoder levou em consideração que a máxima velocidade do kart seria de 60 km/h. Assim com a medida de roda do veículo encontra-se a relação de revoluções pela velocidade. Obtém-se assim uma frequência de bloqueios do sinal do encoder de aproximadamente 20 Hz.

3.2 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador a ser utilizado será o Arduino Mega®, da Atmel®, com um processador ATmega2560 que possui uma frequência de *clock* de 16MHz, com memória Flash de até 256Kbytes aceitando nível de tensão de 0V até 5V nas entradas e saídas (E/S). Dispõe de dezesseis (16) canais de conversão analógico-digital (ADC) de 10 Bits, mais do que as onze (11) necessárias para este projeto permitindo melhorias futuras. Possui cinquenta e quatro (54) portas configuráveis para saídas e entradas digitais, das quais 14 podem ser utilizadas como saídas PWM.

Para comunicação serial disponibiliza a conexão de até três módulos receptores/transmissores assíncronos universais, UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), um SPI (*Serial Peripheral Interface*) ou Interface periférica serial e uma porta para comunicação de circuitos inter-integrados I2C (*Inter-Integrated Circuit*) Bus. Para o desenvolvimento deste projeto serão utilizadas as portas digitais e ADC, portas digitais para conexão do *display* para o piloto e uma das portas de comunicação serial SCI (UART) para conexão do modulo *wireless*. As portas utilizadas no Arduino são apresentadas na tabela 3.1.

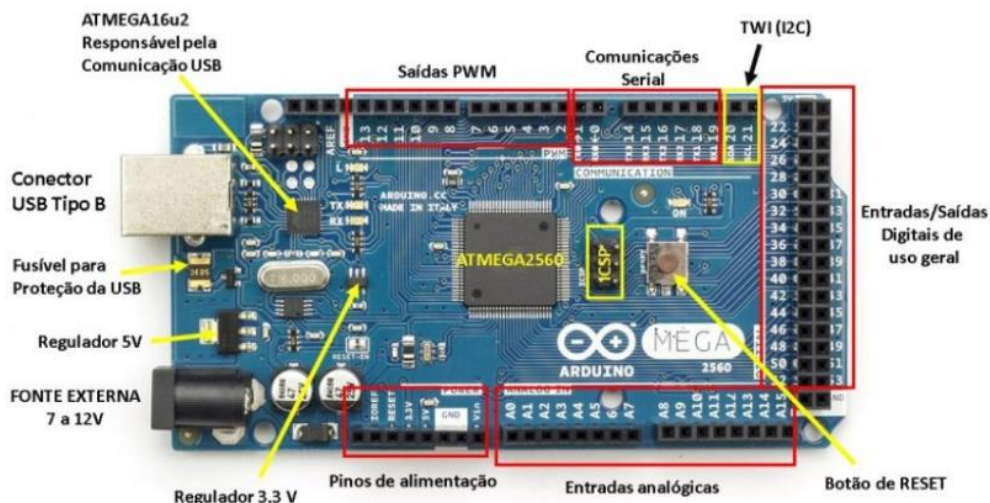
Tabela 3.1. Portas utilizadas no Arduino.

Porta	Tipo	Função
A0	Analógica	Leitura da tensão na bateria 1
A1	Analógica	Leitura da tensão na bateria 2
A2	Analógica	Leitura da tensão na bateria 3
A3	Analógica	Leitura da tensão da bateria 4
A4	Analógica	Leitura da corrente nas baterias
A5	Analógica	Leitura corrente no motor
A6	Analógica	Leitura da temperatura na bateria 1
A7	Analógica	Leitura da temperatura na bateria 2
A8	Analógica	Leitura da temperatura na bateria 3
A9	Analógica	Leitura da temperatura na bateria 4
52	Digital	Leitura do encoder
8	PWM	Seleção do registrador para o display
9	PWM	Leitura/Escrita para o display
4	PWM	Pino de dado para o display
5	PWM	Pino de dado para o display
6	PWM	Pino de dado para o display
7	PWM	Pino de dado para o display
0	Comunicação Serial	Transmissão de dados para o módulo RF
1	Comunicação Serial	Recepção de dados do módulo RF

Fonte: Próprio Autor, 2018.

A placa aceita uma alimentação externa com tensões de 6V a 20V, sendo aconselhável manter os níveis de 7V a 12V. Também pode-se fazer a alimentação com o conector USB diretamente do computador. A Figura 3.5 apresenta o Arduino Mega® com as suas portas correspondentes.

Figura 3.5. Arduino MEGA®.



Fonte: EMBARCADOS, ARDUINO MEGA2560, Disponível em:<

<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em 21 mai. 2019.

3.3 COMUNICAÇÃO SERIAL

A comunicação serial consiste na transmissão sequencial dos *bits* de dados por um canal. Estes bits são recebidos na saída do canal, onde reconstitui-se os *bytes* do sinal original [10].

O Arduino realiza a transmissão de dados serial com o padrão ASCII (*America Standard Code for Information Interchange*), onde cada caractere é associado a um *byte* específico. Seu modo de comunicação utilizado é o RS232, que é um método de transmissão assíncrono, constituído por três caminhos para transmissão de dados, o transmissor, o receptor e o terra.

Como explica Orlandini (2011), na transmissão assíncrona os dados são enviados em sequências de dez ou onze *bits*, constituído pelo “*start bit*” ou *bit* de inicialização, que quando em nível lógico zero sinaliza que os 8 bits seguintes constituem a mensagem, após o envio da mensagem conclui-se a transmissão com “*stop bit*” ou bit de parada.

Um fator importante na comunicação serial é a taxa de transferência (Baud Rate) que se refere ao número de bits transmitidos por unidade de tempo. No padrão RS232, ocorre uma transição de sinal por bit, assim a taxa de transferência e a taxa de bit (Bit rate), são as mesmas, ou seja, uma taxa de 9600 bauds corresponde a uma transferência de 9600 bits por segundo [Orlandini, 2011 apud Zanco, 2008].

Segundo Neto (2017), ainda podemos incluir a paridade como uma característica importante para a comunicação serial. Ela constitui na inclusão pelo microcontrolador de um *bit* depois de todos os *bits* de dados, checando a paridade e verificando a ocorrência de erros, pode ela ser par, quando o *bit* de paridade é 0 ou 1 para que se resulte em um número par de *bits* 1, ou ímpar quando esta variação ocorre para resultar em um número ímpar de “1s”.

3.4 COMUNICAÇÃO WIRELESS

Nesta seção é apresentado o módulo de rádio frequência escolhido para implementação do sistema de transmissão de dados do veículo via *wireless*.

3.4.1 Transmissão em rádio frequência

As ondas de rádio de são de fácil geração e seu sinal é irradiado em todas as direções, permitindo uma disposição mais simples para comunicação entre o transmissor e receptor. Também podem ser utilizadas para transmissão em grandes distâncias se em um ambiente aberto e sem barreiras [13].

Na escolha da tecnologia é necessário levar em consideração fatores importantes como a frequência, distância entre o emissor e o receptor, a velocidade de transmissão de dados desejada e as possíveis interferências geradas entre o caminho percorrido.

Em frequências baixas as ondas de rádio atravessam bem os obstáculos, mas sua potência decai rapidamente com o aumento da distância entre o transmissor e o receptor. Em frequências altas as ondas de rádio tendem a percorrer linhas retas, são refletidas por obstáculos e são absorvidas pela chuva. Em todas as faixas de frequência as ondas de rádio estão sujeitas a interferência de motores e equipamentos elétricos, além do problema do uso da mesma faixa de frequências por diferentes usuários [Stavarengo, 2006].

No entanto devemos levar em consideração que a frequência do sinal transmitido modificará o comprimento de onda e à largura da banda. Uma vez que no vácuo as ondas eletromagnéticas se propagam na velocidade da luz pode-se definir o comprimento de onda como na Equação 3.1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

Sendo λ o comprimento de onda, f a frequência, e a constante c a velocidade da luz. Assim percebe-se que o comprimento de onda de um sinal eletromagnético é inversamente proporcional a frequência do sinal.

Porém com o aumento da frequência haverá o aumento da largura de banda do sinal.

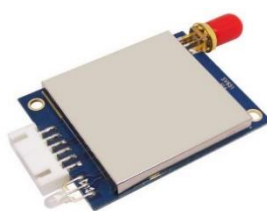
O volume de informação que uma onda eletromagnética pode transportar está diretamente relacionado com a largura de banda, ou seja, quanto maior a frequência maior a capacidade de transmissão de bits por Hertz. [Stavarengo, 2006]

3.4.2 Módulo de rádio frequência

A comunicação remota para recepção dos dados do veículo será feita por um módulo de rádio frequência SV651 da NiceRF Wireless Technology®, composto por um transmissor e um receptor.

Este módulo conta com uma potência de saída de 500mW ou 27dBm, interface TTL, sensibilidade de -121dBm e alcance de 4km, operando em temperaturas de até 85 °C. Como o módulo é suprido por uma faixa de tensão de 3,3V a 6,5V, pode ser alimentado tanto por uma saída do próprio microcontrolador como por uma fonte externa. É possível que ele opere em frequências de 414,92 MHz a 453,92 MHz, quando na condição de 433MHz, o que impede a interferência com sistemas que trabalhem a mesma frequência. O módulo pode ser visto na Figura 3.6.

Figura 3.6. Módulo Wireless SV651 da NiceRF®.

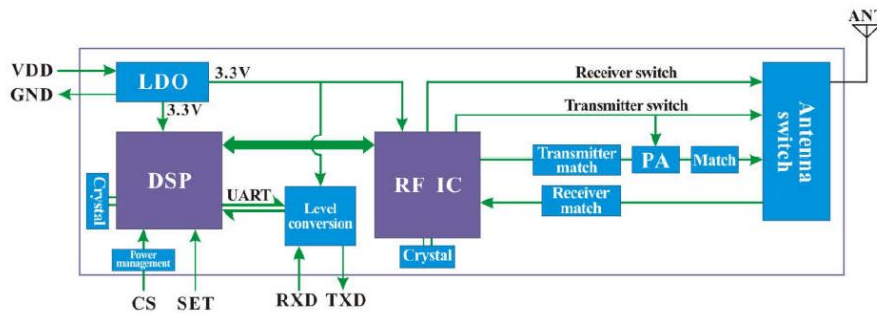


Fonte: NiceRF.com Disponível em: <http://nicerf.com/product_148_57.html>. Acesso em 18 out. 2018. 2018

O módulo SV651 utiliza a modulação GFSK (*Gaussian Frequency-Shift Keying*) ou modulação Gaussiana. Esta modulação é similar a FSK (*Frequency-shift keying*) ou modulação por chaveamento de frequência, onde a portadora passa a possuir uma

frequência específica para a transmissão do *bit* 1 e outra para o *bit* 0. Porém na modulação GFSK é aplicado um filtro gaussiano nos sinais recebidos antes do modulador. Esse filtro resulta em uma menor largura de banda dos sinais [12]. O diagrama do módulo é apresentado na Figura 3.7.

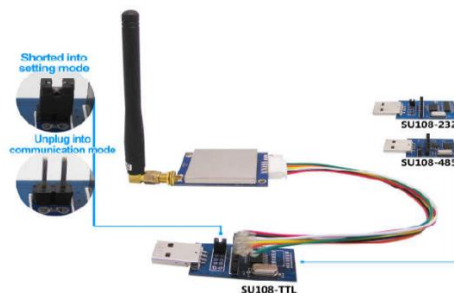
Figura 3.7. Diagrama modulo SV651 da NiceRF®.



Fonte: NiceRF.com Disponível em: <http://nicerf.com/product_148_57.html>. Acesso em 18 out. 2018. 2018

Conforme é mostrada na figura 3.7 é possível ver que ele possui um regulador de tensão para garantir a alimentação interna de 3,3V. A entrada CS é utilizada para que o módulo entre em modo de espera, e a entrada SET quando em nível baixo é usada para o modo de configuração. Para que seja possível iniciar a comunicação serial é necessário conectar ao barramento SCI (UART) do microcontrolador às portas TXD e RXD, respectivamente responsáveis por enviar e receber os dados via serial. Após programado o módulo, conecta-se a porta TXD do módulo a RXD do microcontrolador, e a RXD do módulo a TXD do microcontrolador. Os dados recebidos são verificados e caso não haja erros são transmitidos.

Figura 3.8. Modulo de recepção do SV651.



Fonte: NiceRF.com Disponível em: <http://nicerf.com/product_148_57.html>. Acesso em 18 out. 2018.

Como o kart ainda não é utilizado em competições, utilizou-se como base para os cálculos o tamanho médio de uma pista de kart. Assim uma distância máxima de 2 quilômetros entre o emissor e o receptor foi considerada.

O cálculo da potência recebida no módulo receptor é apresentada na equação 3.2, utilizando as mesmas considerações utilizadas por Neto (2017), uma vez que se faz uso do mesmo modelo de receptor.

$$Pr = 10\log\left(Gr \cdot Gt \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \cdot Pt\right) \quad (3.2)$$

Onde:

- Pr é a potência recebida no módulo receptor [dBm];
- Pt a potência de transmissão considerada 500[mW];
- Gr é o ganho do módulo receptor dado por 500;
- Gt o ganho do módulo transmissor de 500;
- λ é o comprimento de onda [m];
- d a distância máxima entre os módulos emissores e receptores.

O valor resultante dos cálculos teóricos foram de -55 dBm no módulo receptor. O *datasheet* do módulo especifica a sensibilidade em até -121dBm, assim vemos que o módulo pode ser utilizado para esta aplicação.

3.5 LM 358

O amplificador operacional escolhido para este trabalho foi o LM 358, que possui um encapsulamento composto por dois amplificadores, aceita uma alimentação simétrica máxima de $\pm 16V$, e assimétrica de até 32V e também possui uma rejeição de modo comum (CMRR) de 85dB. O LM 358 apresenta uma saída linear quando sob uma tensão assimétrica, facilitando a implementação de vários circuitos que possuem apenas valores positivos na saída do amplificador.

A tensão de *off-set* máxima na entrada é de apenas 3mV. Com isto e analisando que o maior ganho do amplificador será de 3 no circuito de medição de temperatura, se espera um erro máximo de 9mV. Estes valores não serão capazes de gerar desvios significantes, uma vez que um processo de linearização dos valores recebidos nas saídas dos circuitos de condicionamento, é capaz de corrigi-lo.

3.6 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA

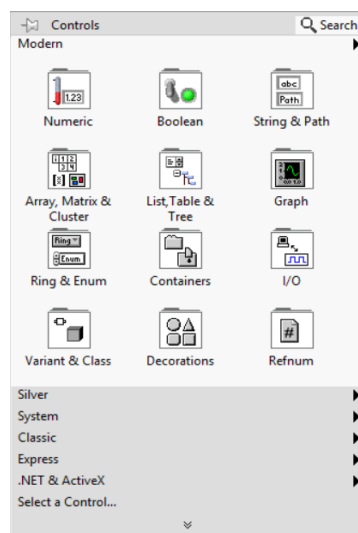
Os dados recebidos do veículo passarão por um tratamento via software para que possam ser representados de forma gráfica. Para apresentar os dados será utilizado o software LABVIEW®, este permite gerar uma interface agradável e de simples interpretação. Sua linguagem de programação consiste em uma programação gráfica de fluxo de dados. Os objetos nas bibliotecas são associados por blocos chamados de nós que processam os dados, e os nós são formados pela união dos fios que transportam os dados.

Cada programa é designado por VI (Instrumentação Virtual) e contém duas janelas: o painel frontal é uma interface visual na qual o utilizador interage em ambiente virtual, e o diagrama de blocos onde é feita a programação propriamente dita.

Uma das particularidades, à semelhança de outras linguagens de programação mais tradicionais, é a possibilidade de criar um sub-programa – sub-VI – dentro do próprio programa, escolhendo um conjunto de ícones e agrupando-os em seguida. [Fonseca, 2016].

Quando no painel frontal é possível acessar todos os blocos através da paleta de controle, a qual conta com todos os recursos para desenvolvimento da interface gráfica, apresentada na Figura 3.9.

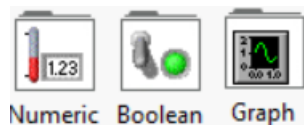
Figura 3.9. paleta de controle LabVIEW®.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

Os itens de maior destaque para o desenvolvimento da interface deste projeto são os numéricos (*numeric*), booleanos (*boolean*), e os gráficos (*graph*). Os blocos são apresentados na Figura 3.10

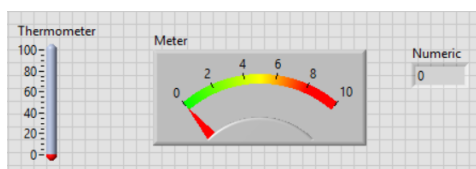
Figura 3.10. Paletas numérico, booleano e gráfico.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

Os numéricos são constituintes de uma série de mostradores numéricos “analógicos”, como barras de progresso horizontal, termômetros, indicadores numéricos e medidores. A Figura 3.11 apresenta alguns exemplos.

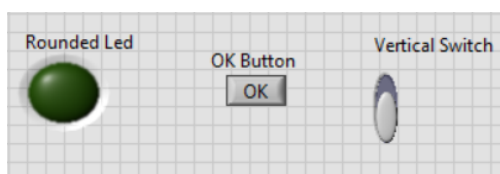
Figura 3.11. Itens da paleta numérico.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

A paleta booleana possui uma série de mostradores com características booleana, sendo composta por LEDs, botões e chaves seletoras. Estes exemplos aparecem na Figura 3.12.

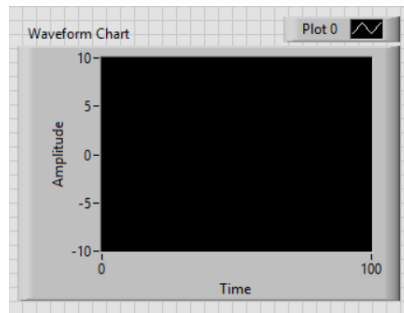
Figura 3.12. Itens paleta booleano.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

Na paleta gráficos estão contidos alguns modelos de gráficos. O modelo utilizado nesta interface será o gráfico de onda, como o que está a apresentado na Figura 3.13.

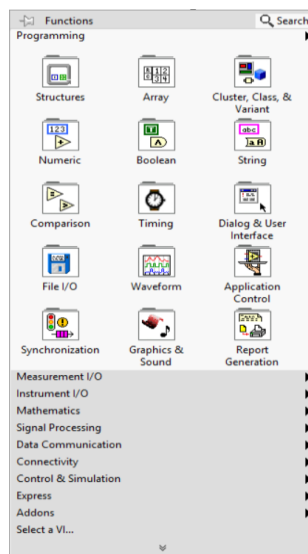
Figura 3.13. Gráfico de onda.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

Um diagrama de blocos pode ser desenvolvido e modificado com o uso da paleta de funções, Figura 3.14, que pode ser acessada diretamente na janela do diagrama. Ela constitui uma variedade de blocos de funções, como operações matemáticas, portas lógicas e blocos para manipulação de *strings*.

Figura 3.14. Paleta de funções.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

Nela também encontramos as componentes para comunicação serial, Figura 3.15, que serão utilizadas para receber os dados da serial, enviados pelo microcontrolador. O sistema é composto pelo *VISA Serial*, que recebe as configurações e os dados da porta serial, o *VISA Read*, que é responsável pela leitura dos dados vindos da serial, o *VISA Write* que escreve os dados na porta serial.

Figura 3.15. Blocos de comunicação serial.



Fonte: Ferramenta de programação LabVIEW®.

A parte Interna do veículo também irá contar com uma interface básica em um display que possa ser acessada pelo piloto enquanto opera o veículo, mantendo o informado sobre a velocidade do veículo.

4 CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO DE SINAL

Neste capítulo são apresentados os circuitos de condicionamento de sinal. Eles consistem em circuitos que recebem sinais de tensão ou corrente, e os convertem em sinais que possam ser lidos pelas entradas dos ADCs do microcontrolador, adequados em amplitude e frequência máxima.

No veículo, os sensores de temperatura, e sensores hall de corrente, assim como a leitura da tensão das baterias precisam de um circuito de condicionamento que limite sua tensão de saída entre 0V e 3V para que possam ser conectados as entradas do microcontrolador. Quanto a máxima frequência dos sinais, são usados filtros passa-baixa adequados para limitar a banda de frequência.

4.1 FILTRO ANTI-ALIASING

Os filtros possuem a função limitar as bandas de frequência de um sinal, atenuado assim frequências indesejadas como ruídos que podem acarretar desvios nas leituras das saídas de um circuito de sinais.

Em um filtro real, na sua resposta em frequência, há uma atenuação em certas frequências e também há uma oscilação na banda passante chamada "*ripple*". Geralmente a frequência de corte é definida após um decaimento de 3 dB na resposta em frequência [Nery, 2008].

A frequência de corte em um filtro é dada como a frequência na qual o seu ganho é 70.7 % da potência do sinal de entrada [16].

O filtro passa-baixa atua atenuando as amplitudes dos sinais com frequências abaixo de sua frequência de corte. Em sua maneira mais simples, um filtro passa-baixa analógico é composto por capacitores e resistores. Para definir a frequência de corte, basta que se ajuste as relações entre ambos os componentes.

Neste trabalho estes filtros são utilizados na saída dos circuitos de condicionamento para limitar a frequência do sinal a ser amostrado pelo microcontrolador, impedindo assim o efeito da sub amostragem dos sinais.

4.2 CONDICIONAMENTO DOS SINAIS DO SENSOR DE TEMPERATURA

O sensor de temperatura utilizado possui uma variação linear de tensão com uma escala de 10mV para cada 1°C. Com a intenção de proteger as baterias estipulou-se uma máxima temperatura em 100°C quando o kart estiver em utilização.

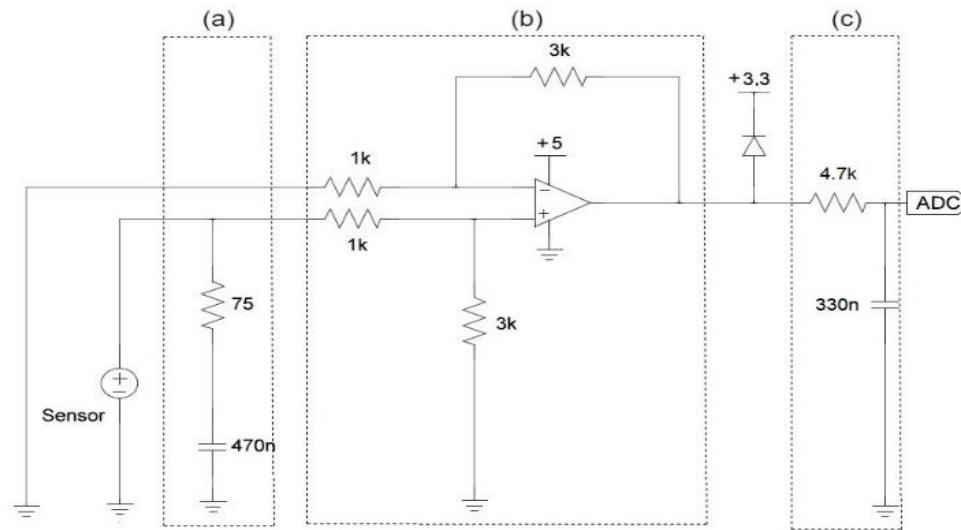
O circuito de condicionamento é apresentado na Figura 4.1. Ele é composto primeiramente por um resistor e capacitor em paralelo com o sensor, Figura 4.1(a), na entrada sugeridos pelo fabricante. Segundo o *datasheet*, o LM35 pode sofrer interferência quando posto em um ambiente com fontes eletromagnéticas intensas, onde neste caso teremos um rádio transmissor e um motor com escovas. Mais próximo do microcontrolador é utilizado um circuito de amplificador diferencial de tensão, Figura 5.1(b), e sua função de transferência é definida por:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \times (V_{i2} - V_{i1}) \quad (4.1)$$

Este circuito foi utilizado ajustando o valor dos resistores para se obter uma relação de ganho de 3, já que a maior tensão de saída esperada no sensor será de 1V. Também sua configuração permite reduzir o ruído de modo comum das tensões na entrada do amplificador.

O terceiro estágio, Figura 4.1(c), é composto por um filtro passa-baixa na frequência de 103Hz e um diodo de grampeamento, utilizado para limitar a tensão de saída em 3,3V e proteger a entrada do microcontrolador.

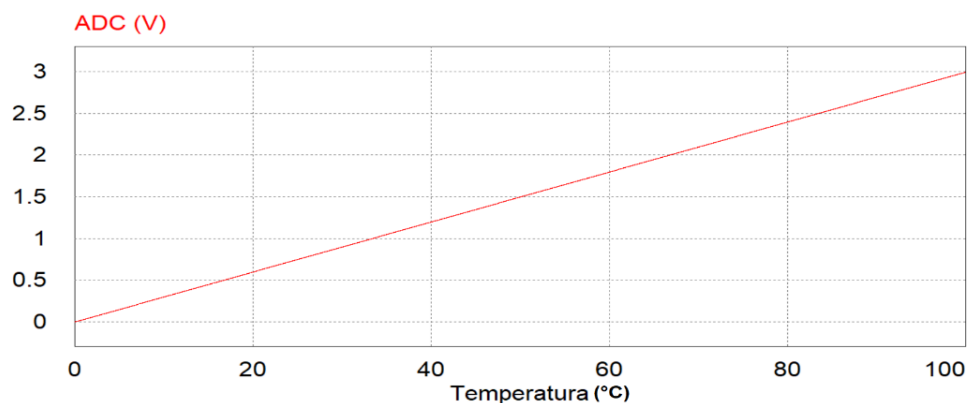
Figura 4.1. Circuito de condicionamento do sensor de temperatura. (a) Capacitor e resistor em paralelo com o sensor. (b) Circuito do amplificador diferencial de tensão. (c) Filtro passa baixas.



Fonte: Próprio autor.

Os resultados da simulação do circuito de 25°C, temperatura ambiente, até 100°C do circuito podem ser vistos na Figura 4.2.

Figura 4.2. Saída do circuito de condicionamento variando de 25°C a 100°C.



Fonte: Próprio autor.

O circuito apresenta o comportamento esperado, de maneira adequada a faixa de leitura dos ADCs do microcontrolador.

4.3 CONDICIONAMENTO DE CORRENTE

O sensor Hall de corrente possui uma saída em corrente com escala de 1:1000. Assim na primeira parte do circuito é utilizado um resistor em paralelo para gerar um sinal de tensão proporcional a corrente, pois o Arduino apenas pode interpretar

valores de tensão positivos em suas portas de entrada. Na segunda parte do circuito se fez uso de um filtro anti-aliasing ativo, que também atua reduzindo o ruído de modo comum, já que funciona de modo a subtrair os sinais da entrada. A função de transferência é apresentada como segue:

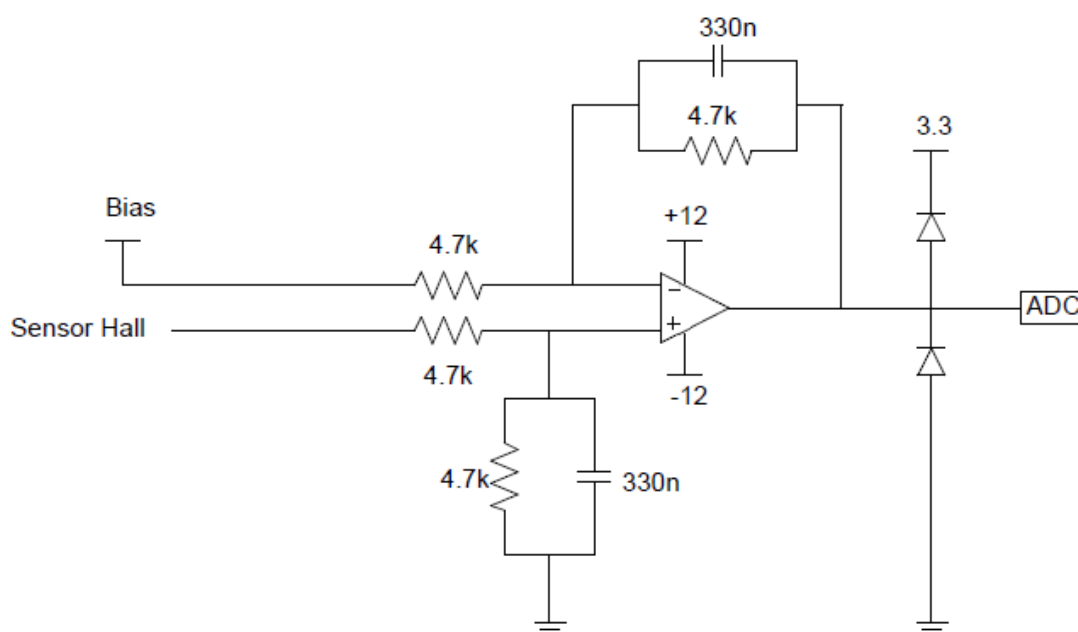
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1 + RCs)} \quad (4.2)$$

Esta é a mesma função de transferência do filtro passa baixa RC, quando analisado para um ganho de 0,5 obtemos a equação para frequência de corte do circuito como:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.3)$$

Utilizando os valores adequados de resistores e capacitores, o filtro foi desenvolvido para que apresentasse uma frequência de corte de 103 Hz. O circuito é apresentado na Figura 4.3.

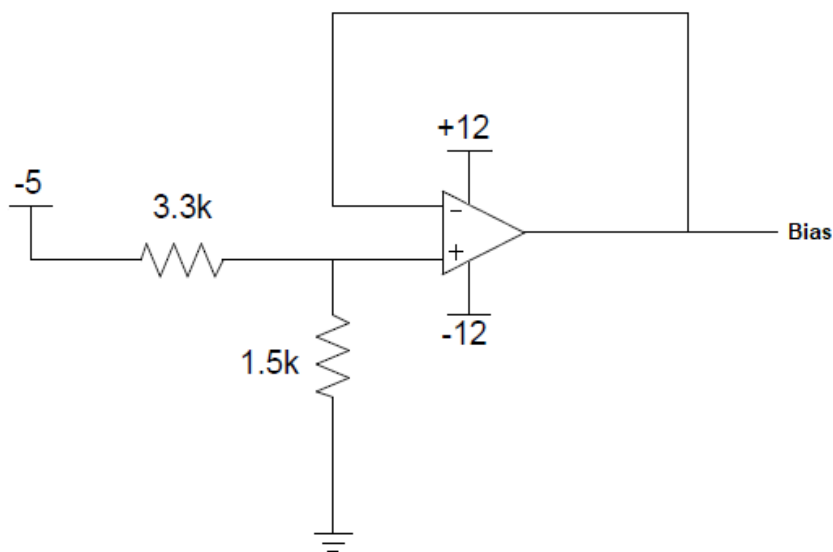
Figura 4.3. Circuito para condicionamento de corrente do sensor Hall.



Fonte: [17].

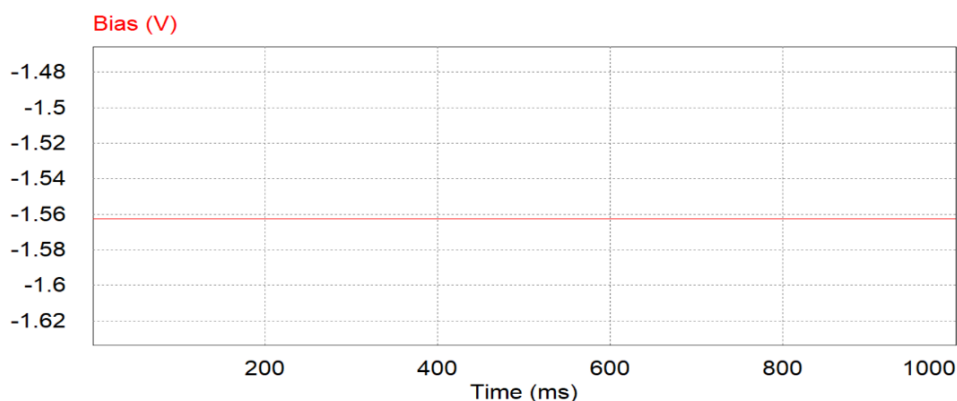
Como o sensor Hall de corrente é bidirecional, se faz necessário o uso de um deslocamento no sinal de entrada, utilizando um circuito que obtém -1,5V na entrada negativa do amplificador, vindo de um regulador de tensão conectado a fonte chaveada, e repassa este deslocamento acrescido do valor do sensor Hall para a saída. O circuito para gerar a tensão de deslocamento na entrada e seu valor simulado são representados na Figura 4.4 e Figura 4.5.

Figura 4.4. Circuito para geração da tensão de referência.



Fonte: Próprio autor.

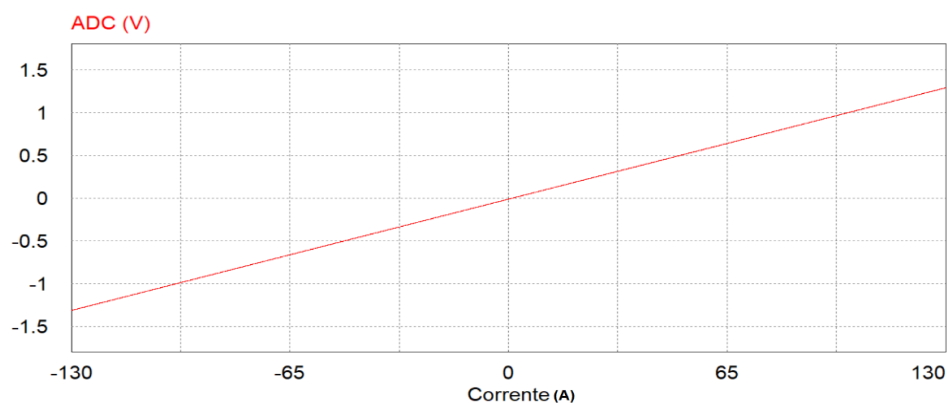
Figura 4.5. Saída do circuito gerador da tensão de referência.



Fonte: Próprio autor.

Utilizando estes circuitos se obtém os sinais da saída para o Arduino. A Figura 4.6 apresenta o funcionamento quando o hall está lendo os valores de corrente de -130A até 130A.

Figura 4.6. Saída do circuito de condicionamento do Hall de -130A até 130A.

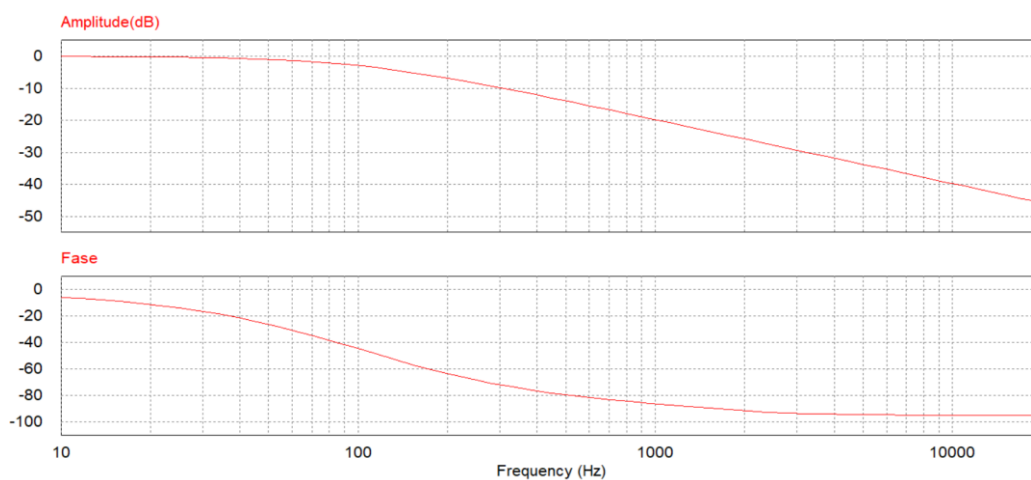


Fonte: Próprio autor.

4.3.1 Análise em frequência do filtro.

A frequência de atenuação do filtro foi analisada utilizando o software PSIM, que permite a análise do ganho com relação a variação da frequência. Os resultados são apresentados na Figura 4.7.

Figura 4.7. Análise do filtro de corrente. (a) Análise do ganho do filtro em frequência. (b) Análise de fase em frequência.



Fonte: Próprio autor.

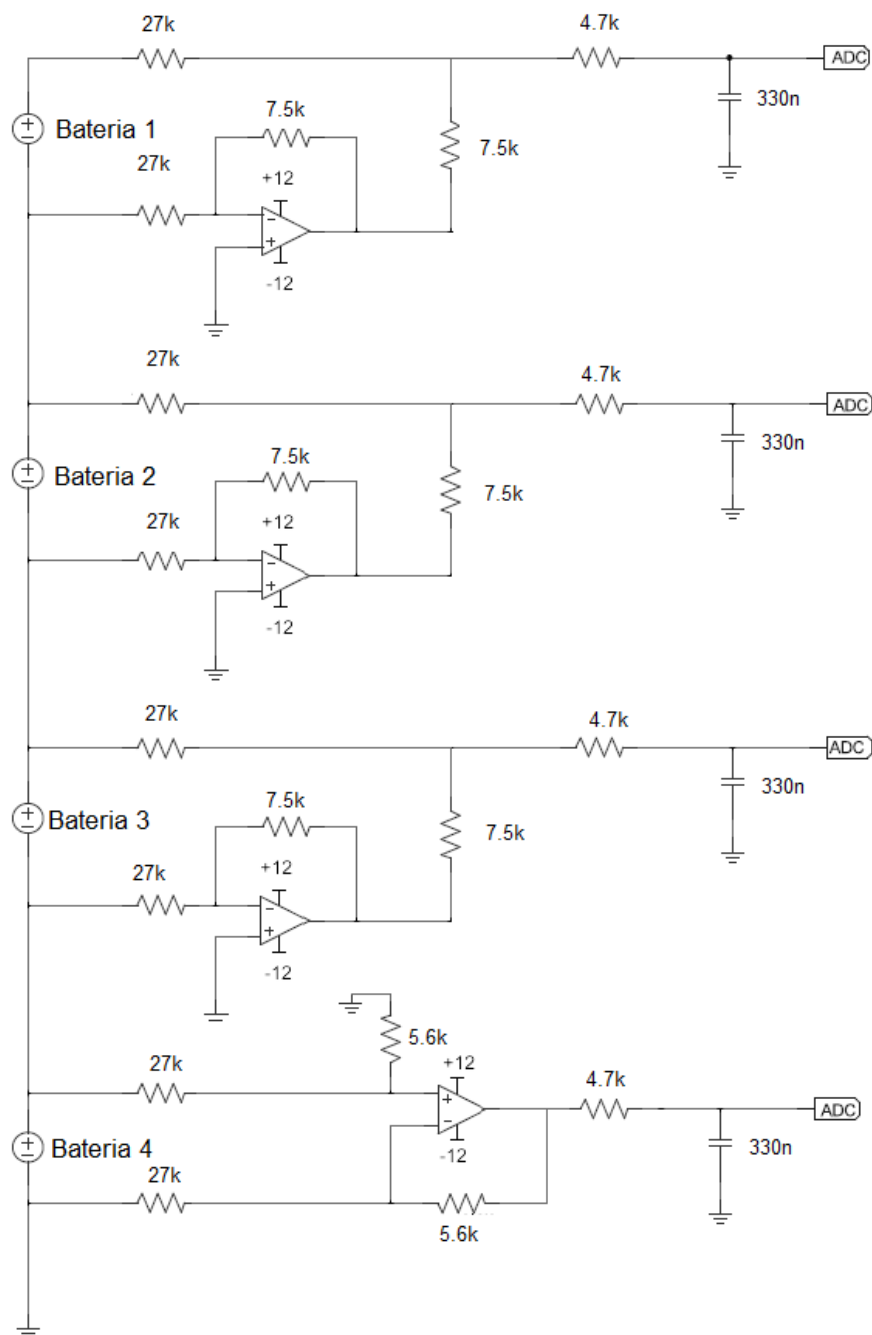
O circuito apresenta um ganho de 0,707 ou -3,01dB na frequência de corte projetada, e 0,01 (-39,7 dB) na frequência de 10kHz, que é a frequência mínima de chaveamento do conversor, e deve ser atenuada.

4.4 CONDICIONAMENTO DE TENSÃO NAS BATERIAS

Cada uma das quatro baterias possui um circuito de condicionamento e medição de tensão em específico. Como estas se encontram conectadas em série, o circuito para medição das três baterias superiores que possuem os terminais negativos conectados ao terminal positivo daquela que a precede, é composto por um amplificador inversor na entrada ligado ao terminal negativo da bateria, com um circuito que conta com dois resistores que atuam como divisores de tensão em seu polo positivo. Para a última bateria que se encontra com o terminal negativo conectado ao ponto comum do circuito, é utilizado um amplificador diferencial entre seu terminal positivo e negativo. Ambos os circuitos rejeitam sinais de modo comum entre as entradas de tensão no ponto de leitura, o que ajuda a eliminar o ruído no percurso de transmissão entre as baterias e a placa com o circuito de condicionamento. Na saída dos circuitos foi implementado um filtro RC passa-baixa para evitar o efeito de *aliasing*, projetado com uma frequência de corte de aproximadamente 103Hz.

Quando as baterias se encontram em máxima carga possuem uma tensão de aproximadamente 13,5V cada. Assim o circuito foi projetado para possuir valores mais próximos de 3V em sua saída. O circuito foi adaptado de Heerdt (2013), pois neste caso as tensões medidas das baterias são valores DC, e há também a inclusão do último circuito, um amplificador diferencial. Os circuitos de condicionamento são apresentados na Figura 4.8.

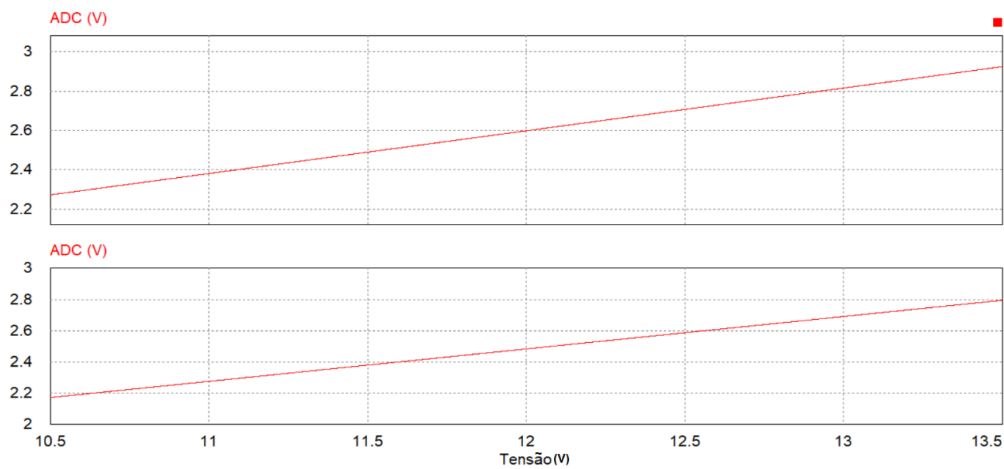
Figura 4.8. Circuito de condicionamento de tensão nas baterias.



Fonte: Adaptado de [18].

A simulação da saída do circuito quando a tensão nas baterias varia de 10,5V a 13,5V está na Figura 4.9, onde é possível perceber que todas as tensões se encontram em uma faixa de 2,28V a 2,93V para os 3 primeiros circuitos, e de 2,18V a 2,8V para o circuito diferencial aplicado a bateria 4, escalas que podem lidas na entrada do Arduino MEGA®.

Figura 4.9. Resultado do circuito de condicionamento de tensão. (a) Baterias 1, 2 e 3
(b) Bateria 4.

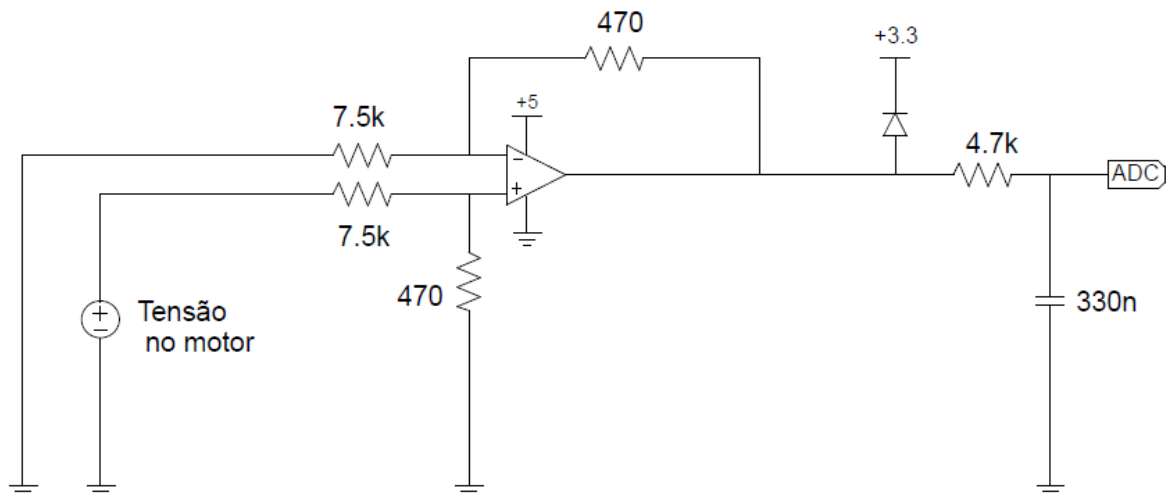


Fonte: Próprio autor.

4.5 CONDICIONAMENTO DE TENSÃO NO MOTOR

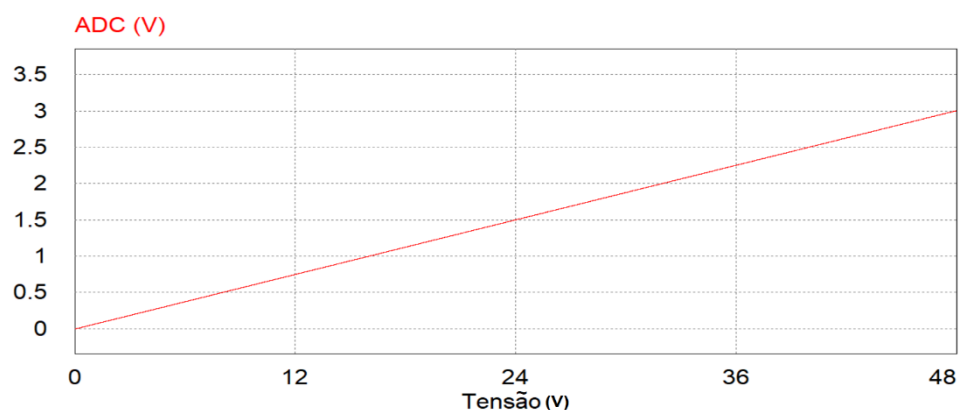
A tensão no motor será obtida também por um circuito diferencial, similar ao utilizado para tensão na última bateria do banco, no entanto modificando a relação do ganho, pois a tensão no motor pode variar até 48V. A relação de resistores assim como o circuito e simulação estão apresentadas na Figura 4.10 e Figura 4.11.

Figura 4.10. Circuito de condicionamento de tensão do motor.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4.11. Saída do circuito de condicionamento de tensão do motor.

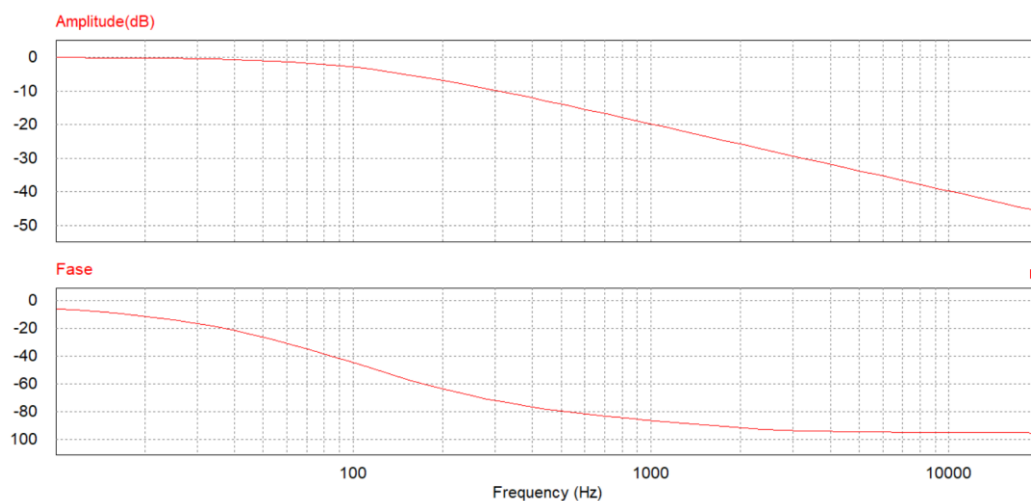


Fonte: Próprio autor.

4.6 ANÁLISE EM FREQUÊNCIA DO FILTRO RC

Os circuitos de condicionamento de tensão nas baterias, motor e de temperatura possuem um filtro RC, seu diagrama de Bode está apresentado na Figura 4.12, notando-se a atenuação do filtro para frequências acima de 103Hz.

Figura 4.12. Análise em frequência filtro RC.

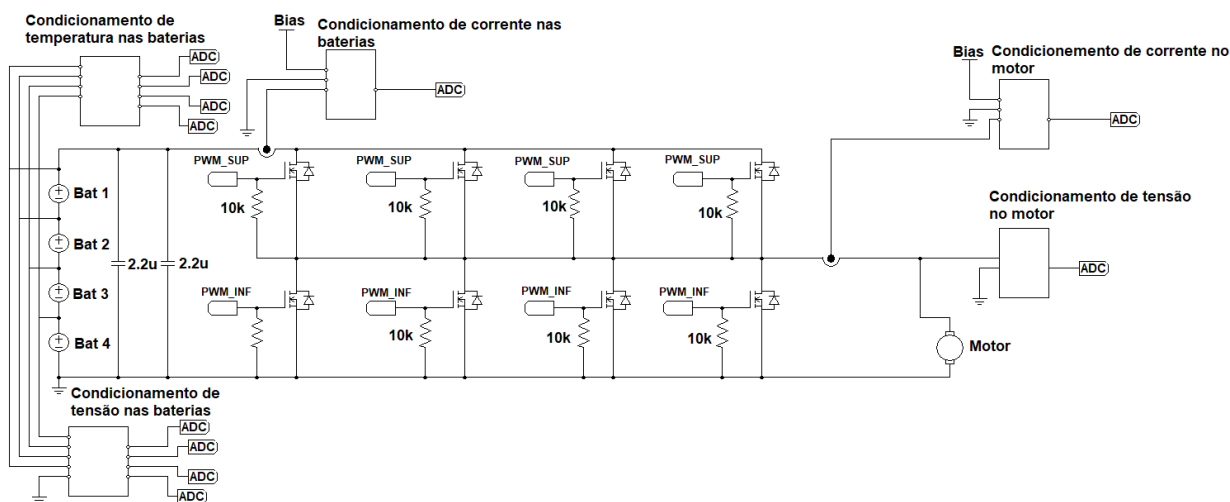


Fonte: Próprio autor.

4.7 DIAGRAMA DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO CONVERSOR

Várias grandezas são analisadas no motor, conversor e baterias. Para uma melhor visualização dos pontos alvos da análise, é apresentado na Figura 4.13 o diagrama do conversor com motor e baterias onde estão conectados os sensores e circuitos de medição.

Figura 4.13. Diagrama com os pontos de medição no conversor.



Fonte: Próprio autor.

São utilizados dois sensores Hall de corrente, um medindo a corrente de saída das baterias, e outro na saída do conversor medindo a corrente que flui para o motor. Para cada uma das baterias são postos os circuitos de condicionamento das medições de tensão, e da mesma maneira para medir a tensão no motor. Todas estas saídas são conectas as portas analógico-digitais do microcontrolador.

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Este capítulo apresenta os resultados experimentais obtidos do sistema de telemetria, como a placa de circuito com os circuitos de condicionamento e os sensores em seus devidos locais de aplicação.

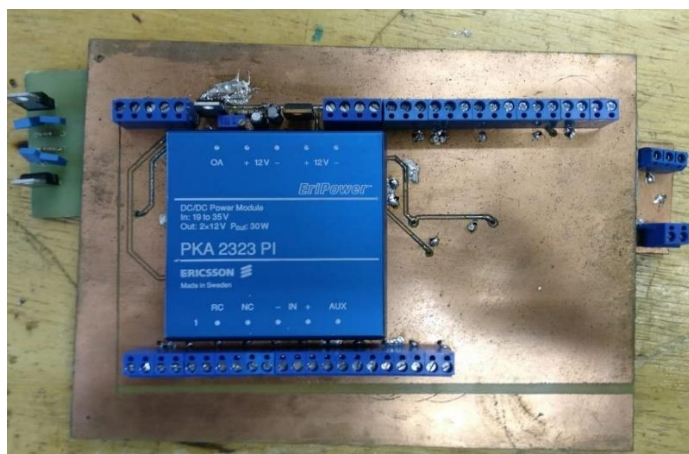
5.1 PLACA DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS

Foi desenvolvida apenas uma placa de circuito impresso onde foram postos todos os circuitos de condicionamento, compostos pelos circuitos de tensão, corrente e temperatura. Como se trata de um circuito de sinais, uma baixa potência circula pelos componentes, o que permitiu que ela fosse desenvolvida utilizando componentes SMD, facilitando o desenvolvimento de uma placa com menores dimensões.

A placa de circuito impresso possui duas camadas (*layers*), a inferior onde se encontram os circuitos de condicionamento de sinais, e um *layer* superior que comporta a fonte chaveada e outros componentes PTH. O circuito de condicionamento de tensão no motor foi incluído após a fabricação da placa de circuito impresso e está posta na lateral da placa principal. Também foram incluídos o circuito com os reguladores de tensão na saída da fonte chaveada, uma vez que não foi possível regular as duas saídas simétricas nas tensões de 12V a serem utilizadas.

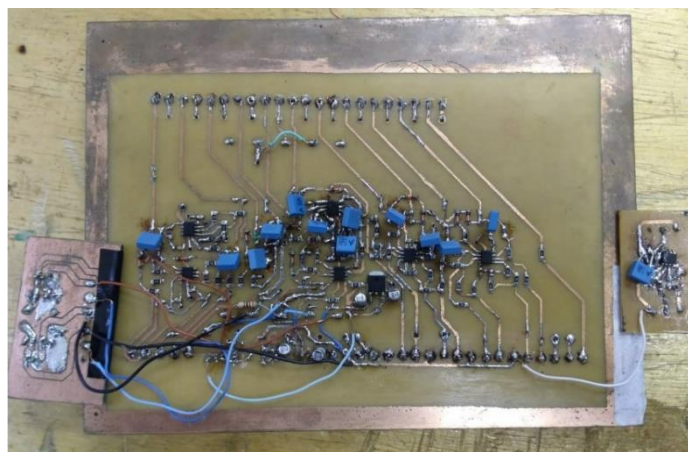
A placa de circuito impresso é apresentada com seu *layer* superior na Figura 5.1 e *layer* inferior na Figura 5.2.

Figura 5.1. *Layer* superior da placa de circuito impresso.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5.2. Layer inferior da placa de circuito impresso.



Fonte: Próprio autor.

A placa foi construída utilizando uma malha de terra, que possui sua referência no mesmo potencial do negativo da última bateria, que é o mesmo para o motor. Uma malha de terra propicia não apenas uma maneira mais fácil de organizar o layout, mas também um caminho menor para as correntes que seguem para o comum do circuito, uma vez que utilizar trilhas para conectar estes pontos em todos os circuitos, acabaria por aumentar o percurso da corrente. Esta malha está posta no *layer* (camada) superior da placa, oposto ao *layer* dos componentes do circuito de condicionamento de sinais, isso impede que as correntes interfiram nos sinais de condicionamento quando circulam para o ponto comum.

Uma nova placa de circuito impresso foi produzida industrialmente, esta versão inclui o circuito de condicionamento de tensão no motor e o circuito com os reguladores de tensão. A nova placa é apresentada no apêndice A, onde são vistos seus *layers* superior e inferior respectivamente, e a placa produzida industrialmente sem seus componentes que serão adicionados posteriormente.

5.2 LEITURA DO ADC DO MICROCONTROLADOR

O sistema de sensoriamento remoto foi inicialmente desenvolvido para a entrada de um DSC, o mesmo microcontrolador utilizado para o controle do conversor do veículo. Este microcontrolador possui uma leitura do ADC com nível variando de 0 a 3,3V. No entanto a mudança do microcontrolador do veículo, assim como a escolha de desenvolver um sistema de telemetria totalmente independente do microcontrolador do conversor, levou a escolha do Arduino como o novo

microcontrolador para o sistema, uma vez que sua simplicidade no quesito de programação permite que melhorias sejam aplicadas mais facilmente pela equipe.

O Arduino MEGA® foi utilizado para o sistema de telemetria, porém como ele possui um ADC com resolução de 10 *bits* e 5V, e a placa teve seus circuitos projetados para que a saída para o ADC fosse de no máximo 3V, os resultados apresentam uma resolução menor que a projetada. A nova resolução é calculada como:

$$ADC_{res} = \frac{1023 * 3}{5} = 613,8 \quad (6.1)$$

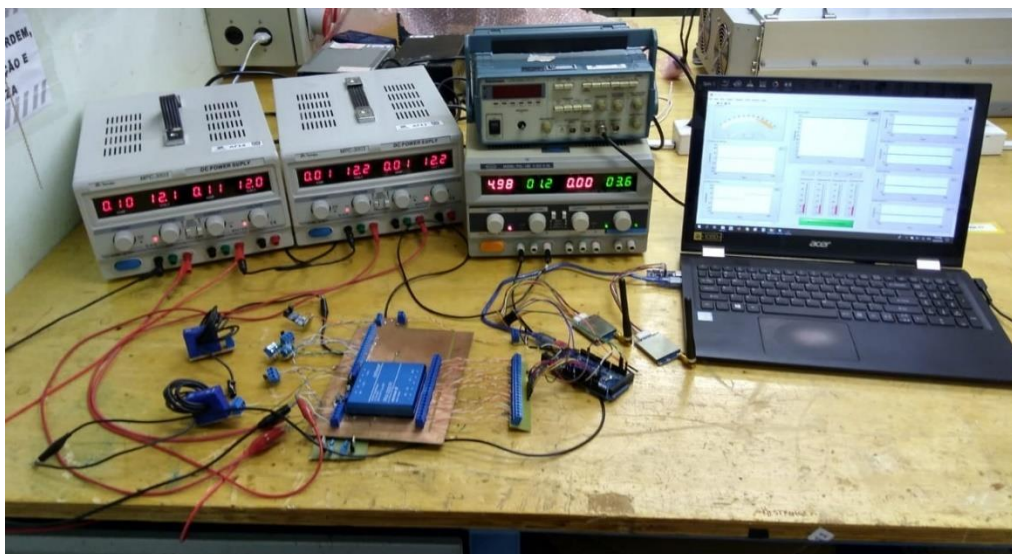
Então a resolução das medidas do ADC será de 613 níveis. No entanto, como uma série de microcontroladores com maior capacidade que o Arduino utiliza uma tensão de entrada no ADC máxima como 3,3V, isso permite a utilização de outros microcontroladores, caso seja uma escolha da equipe para modificações futuras.

O ADC do Arduino apresentou também uma pequena oscilação nas leituras em 4 bits, o que acarreta um erro para as medidas de corrente e tensão. Outro ponto a ser considerando é o fato de o módulo RF possuir uma resolução de 8 bits, que também incrementará um erro na medida.

5.3 TESTES REALIZADOS EM BANCADA.

Os testes foram realizados em bancada com a utilização de fontes controladas, para verificação do correto funcionamento dos circuitos de condicionamento de sinais. A Figura 5.3 mostra a bancada de testes.

Figura 5.3. Bancada de testes.



Fonte: Próprio Autor.

5.3.1 Tensão nas baterias

Como dito no capítulo anterior, são medidas as tensões em cada uma das quatro baterias. Foi calibrado inicialmente em bancada e posteriormente foram retirados seus dados para comprovação dos valores de ganho. Para isso utilizou-se de quatro fontes controláveis de tensão, cada uma simulando o funcionamento de uma bateria.

Os dados retirados são apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.4. Elas contêm a tensão lida na entrada da placa, o valor na saída da placa de circuito de condicionamento, o valor medido com o LabVIEW® e o erro entre o valor real e o lido na interface.

Tabela 5.1. Dados medidos em bancada da bateria 1.

Bateria 1 (V)	LabVIEW (V)	Saída da placa (V)	Erro (%)
10,5	10,4	2,26	0,95
11,0	11,0	2,36	0,0
11,5	11,5	2,45	0,0
12	12	2,54	0,0
12,5	12,5	2,67	0,0
13	13	2,78	0,0
13,5	13,6	2,89	0,74

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5.2. Dados medidos em bancada da bateria 2.

Bateria 2 (V)	LabVIEW (V)	Saída da placa (V)	Erro (%)
10,5	10,4	2,26	0,95
11,0	11,0	2,44	0,0
11,5	11,5	2,55	0,0
12,0	12,0	2,65	0,0
12,6	12,5	2,77	0,8
13,1	13,0	2,87	0,76
13,5	13,4	2,97	0,74

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5.3. Dados medidos em bancada da bateria 3.

Bateria 3 (V)	LabVIEW (V)	Saída da placa (V)	Erro (%)
10,5	10,5	2,28	0,0
11,0	11,0	2,38	0,0
11,5	11,5	2,48	0,0
12,0	11,9	2,58	0,84
12,6	12,5	2,69	0,8
13,0	13,0	2,81	0,0
13,5	13,5	2,92	0,0

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5.4. Dados medidos em bancada da bateria 4.

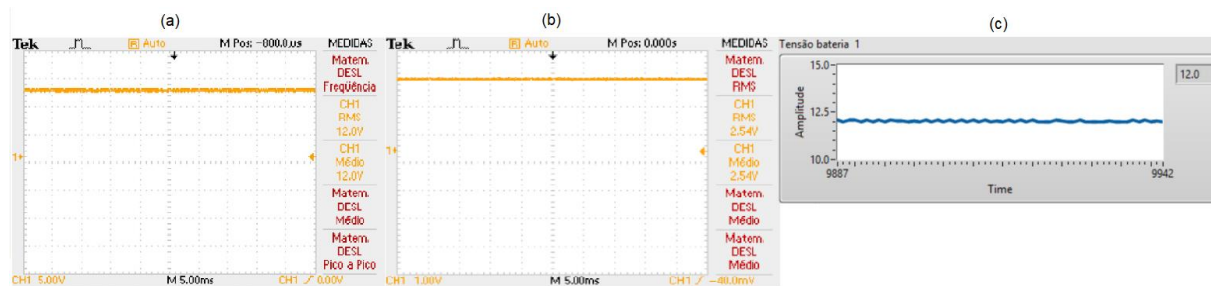
Bateria 4 (V)	LabVIEW (V)	Saída da placa (V)	Erro (%)
10,6	10,5	2,17	0,95
11,1	11,0	2,28	0,90
11,5	11,5	2,37	0,0
12,0	11,9	2,44	0,84
12,6	12,5	2,56	0,8
13,1	13,0	2,67	0,76
13,5	13,5	2,76	0,0

Fonte: Próprio Autor.

Uma vez que as baterias terão uma leitura máxima de 14V, para os 3V na saída do circuito de condicionamento de sinais, se tem uma resolução de aproximadamente 0.0228V para cada bit do ADC do microcontrolador. Como o ADC do Arduino possui uma oscilação nas medidas, percebe-se que utilizar apenas uma casa decimal é suficiente para representar as leituras na interface gráfica, gerando poucas oscilações.

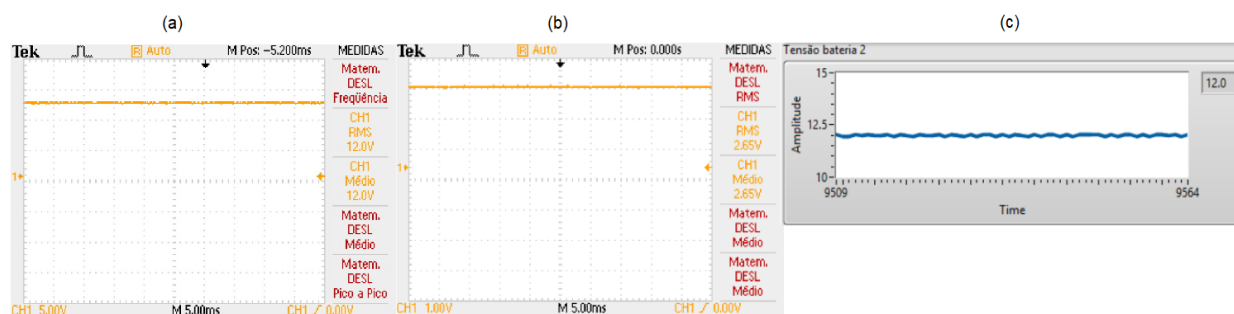
Nas Figura 5.4 até a Figura 5.7, são apresentados os resultados nas leituras das tensões das baterias, dos valores de tensão na entrada e saída da placa por um osciloscópio e na interface gráfica.

Figura 5.4. Leituras para bateria 1. (a) Tensão na entrada da placa. (b) Tensão na saída da placa. (c) Tensão apresentado pelo LabVIEW®.



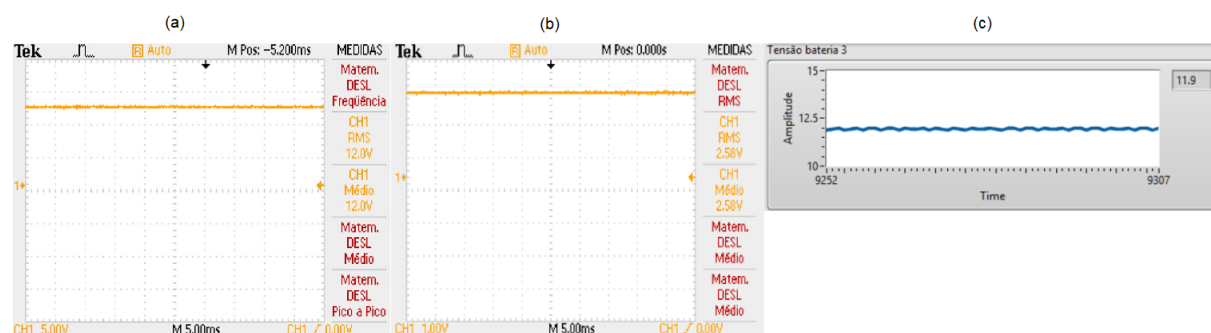
Fonte: Próprio Autor

Figura 5.5. Leituras para bateria 2. (a) Tensão na entrada da placa. (b) Tensão na saída da placa. (c) Tensão apresentado pelo LabVIEW®



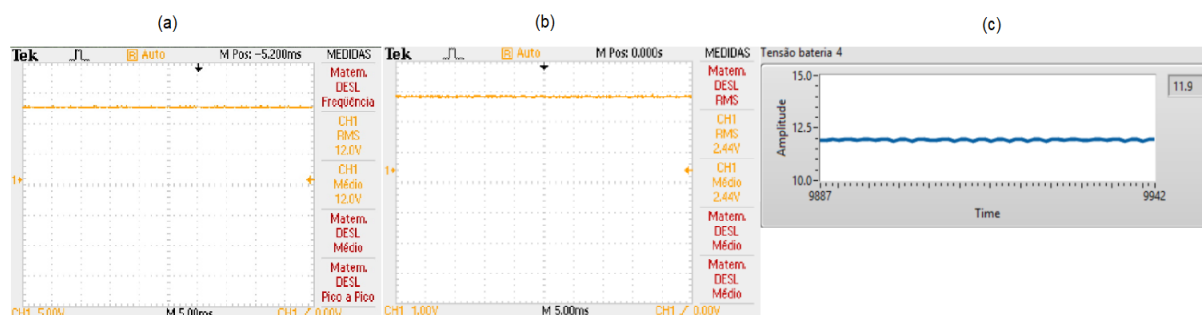
Fonte: Próprio Autor

Figura 5.6. Leituras para bateria 3. (a) Tensão na entrada da placa. (b) Tensão na saída da placa. (c) Tensão apresentado pelo LabVIEW®



Fonte: Próprio Autor

Figura 5.7. Leituras para bateria 4. (a) Tensão na entrada da placa. (b) Tensão na saída da placa. (c) Tensão apresentado pelo LabVIEW®



Fonte: Próprio Autor

5.3.2 Tensão no motor

A tensão no motor também foi calibrada e testada para comprovação dos valores em bancada, com o uso de uma fonte de tensão controlada variável. Por se tratar de uma leitura de tensão de até 48V, espera-se uma oscilação maior em relação ao circuito de medida da tensão nas baterias. Para este caso temos uma resolução de aproximadamente 0,078V para cada bit do conversor ADC do microcontrolador.

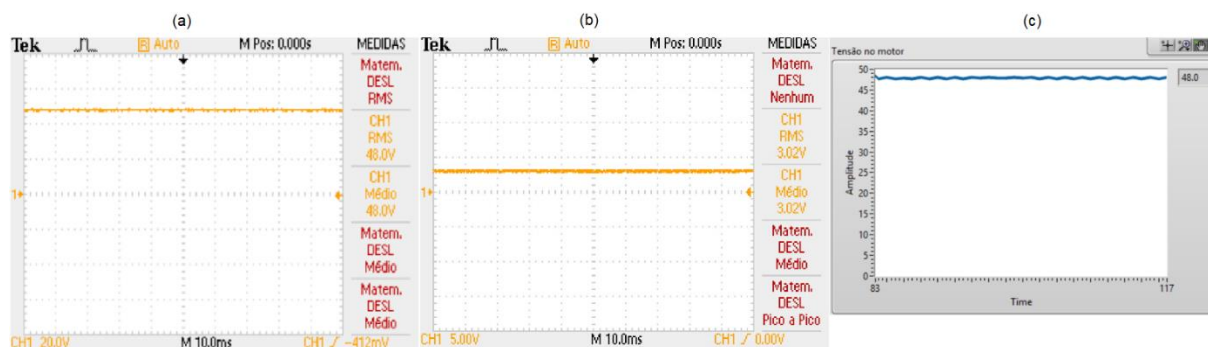
Tabela 5.5. Dados retirados em bancada do circuito do motor.

Motor (V)	LabVIEW (V)	Saída da placa (V)	Erro (%)
24,0	23,0	1,54	4,34
28,1	27,3	1,81	2,93
31,9	31,3	2,06	1,91
36,1	35,8	2,27	0,83
40,0	39,5	2,48	1,26
44,0	44,1	2,79	0,22
48,0	48,0	3,02	0,0

Fonte: Próprio Autor.

A medição dos resultados para a tensão na entrada e saída da placa pelo osciloscópio, assim como o resultado no LabVIEW®, está na Figura 5.8.

Figura 5.8. Leituras no motor. (a) Tensão na entrada da placa. (b) Tensão na saída da placa.
(c) Tensão no LabVIEW®



Fonte: Próprio Autor

5.3.3 Condicionamento de temperatura.

O sistema para acompanhamento de temperatura nas baterias, ao contrário dos outros circuitos, não passou pelo processo de calibração, pois seria bastante difícil manter altos níveis estáveis de temperatura para um ambiente isolado do sensor. Porém, como se trata de um circuito linear com uma boa precisão, há uma confiabilidade de que os valores estão próximos dos reais. A resolução deste circuito foi de 0,16V para cada bit do ADC.

Pelo fato de não haver a calibração do sensor, e levando em consideração a variação na leitura do ADC do Arduino, assim como o erro referente a resolução do módulo *wireless*, considerou-se apenas os valores decimais inteiros da temperatura no LabVIEW®.

Com o intuito de apresentar o funcionamento do circuito assim como a linearidade do sensor, foram retirados dois valores aquecendo-se o sensor, e verificando a tensão de entrada e saída da placa. As Tabelas 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam os dados coletados em bancada.

Tabela 5.6. Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 1.

Sensor 1 (mV)	LabVIEW (°C)	Saída da placa (V)
279	29	0,873
539	58	1,62

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5.7. Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 2.

Sensor 2 (mV)	LabVIEW (°C)	Saída da placa (V)
277	29	0,874
529	59	1,64

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 5.8. Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 3.

Sensor 3 (mV)	LabVIEW (°C)	Saída da placa (V)
273	28	0,869
537	57	1,68

Fonte: Próprio Autor

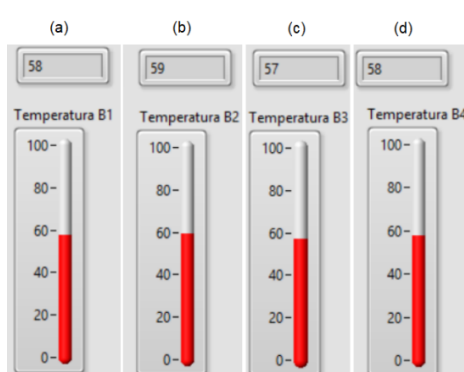
Tabela 5.9. Dados retirados em bancada do sensor de temperatura 4.

Sensor 4 (mV)	LabVIEW (°C)	Saída da placa (V)
277	29	0,873
545	58	1,70

Fonte: Próprio Autor

Os resultados obtidos com o LabVIEW® para as medições acima estão na Figura 5.9.

Figura 5.9. Leituras temperaturas no LabVIEW® (a) Sensor 1. (b) Sensor 2. (c) Sensor 3. (d) Sensor 4.



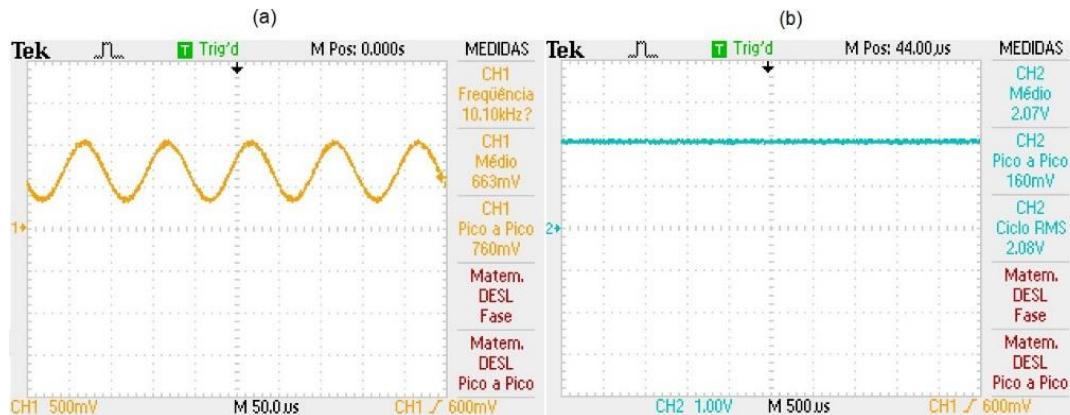
Fonte: LabVIEW®

5.3.4 Filtro RC.

O teste do filtro RC foi realizado em bancada com um sinal c.c. de 663mV adicionado a um sinal senoidal de 760mV de amplitude pico a pico e uma frequência de 10kHz, sendo a frequência mínima de comutação das chaves do conversor. Os

resultados estão na Figura 5.10 e foram retirados do circuito de condicionamento de temperatura, o qual possui um ganho de três vezes o valor de entrada em sua saída.

Figura 5.10. Teste do filtro RC. (a) Tensão na entrada do circuito de condicionamento da placa. (b) Tensão na saída da placa.



Fonte: Próprio Autor

5.3.5 Sensor LA 150P.

Os circuitos de condicionamento para corrente no motor e nas baterias foram projetados inicialmente para ler valores recebidos por um sensor de efeito Hall modelo LA 130P como apresentado no capítulo 4. No entanto não sendo possível a aquisição do sensor escolhido, utilizou-se um sensor do mesmo fabricante e características similares, o LA 150P do fabricante LEM®. Este sensor entre outras características, possui uma corrente eficaz máxima de 150A.

Uma diferença significativa para este trabalho se encontra no fato de que este sensor possui um ganho de 1:2000, o dobro que o modelo escolhido anteriormente.

A calibração do sensor, assim como os testes em bancada foram realizados sem alterar a placa. Com isso espera-se metade da variação de tensão referente ao projeto, na saída da placa.

Isso acaba por acarretar em um valor menor para resolução do ADC para corrente, onde agora temos aproximadamente 1 bit para cada 1A de corrente no conversor.

5.3.6 Condicionamento de corrente no motor.

A corrente no motor apresenta característica continua com pouca ondulação, desta maneira utilizou-se uma fonte de corrente controlada para calibrar e simular o funcionamento do sensor. Como a fonte fornece um valor máximo de pouco mais de 5A, para aumentar o valor foram feitas dez espiras na janela do sensor Hall, proporcionando um valor equivalente de leitura de até 50A.

A Tabela 5.10 apresenta os resultados para os valores de corrente aplicados sabendo-se que se trata de um sensor bidirecional, para obter o valor negativo para a corrente apenas bastou que se invertesse a polaridade da fonte.

Tabela 5.10. Dados retirados em bancada do sensor de corrente do motor.

Sensor (A)	LabVIEW (A)	Saída da placa (V)	Erro (%)
-52,4	-51,5	1,36	1,7
-42,2	-40,8	1,41	3,4
-21,0	-21,5	1,51	2,3
-11,2	-11,8	1,55	5,0
0,0	0,0	1,60	0,0
11,6	11,4	1,67	1,7
20,9	21,1	1,72	0,95
42,3	42,4	1,81	0,23
52,6	52,0	1,87	1,15

Fonte: Próprio Autor

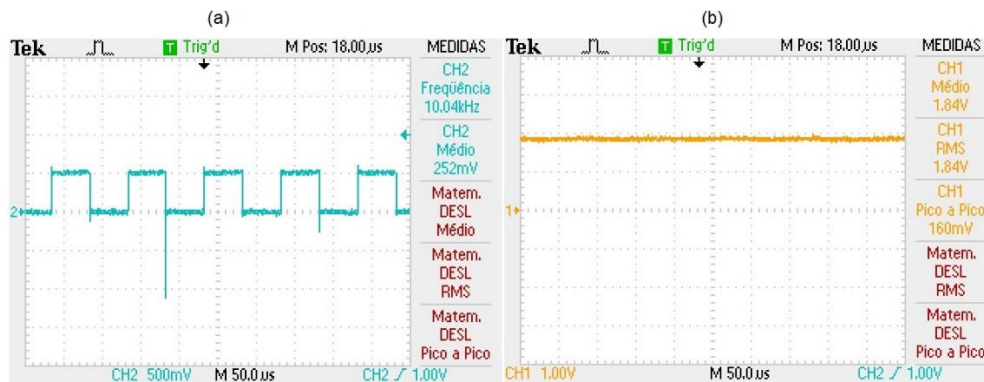
Como o ADC do Arduino apresentou uma oscilação de 4 bits na leitura dos sinais nas ADCs, a mudança do sensor acarretou em uma relação mais alta na escala da corrente para o microcontrolador, o que acabou gerando um desvio maior que o estipulado inicialmente para na interface, porém uma vez que são esperadas correntes altas no motor por se tratar de um veículo de corrida, essa oscilação acaba por não apresentar um valor tão significativo, já que se espera sempre um alto torque e consequentemente uma alta corrente no motor.

5.3.7 Condicionamento de corrente nas baterias

A corrente nas baterias tem um formato pulsado, visto que estas estão conectadas na entrada do conversor, causada pela comutação das chaves.

Para testar o funcionamento do filtro, utilizou-se um gerador de sinais, fornecendo uma onda quadrada, com um sinal de tensão e valores médios similares aos esperados na entrada do circuito. Como uma onda quadrada possui uma grande quantidade de harmônicas, como o sinal fornecido pelo conversor, utilizar o gerador de frequência permite avaliar o funcionamento do filtro. O resultado obtido está apresentado na Figura 5.11, onde se pode verificar o sinal de entrada e saída da placa de condicionamento de sinais.

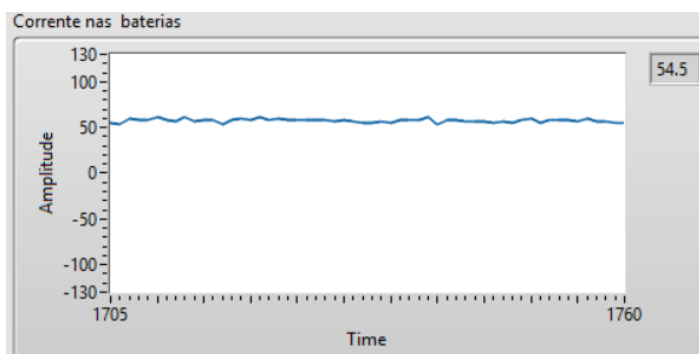
Figura 5.11. Teste do filtro dada corrente da bateria. (a) Corrente na entrada do circuito.
(b) Sinal na saída do circuito



Fonte: Próprio Autor

Percebe-se que o filtro está atenuando as harmônicas como esperado, mantendo apenas seu valor médio, que é a informação desejada. Neste caso, como o circuito apresenta um *off-set* no sinal de saída para interpretação de correntes nos dois sentidos, sua saída apresenta seu valor acrescido de 1.56V, que é o valor obtido do divisor resistivo que gera o *off-set*, o resultado no LabVIEW® é mostrado na figura 5.12.

Figura 5.12. Corrente nas baterias no LabVIEW®.

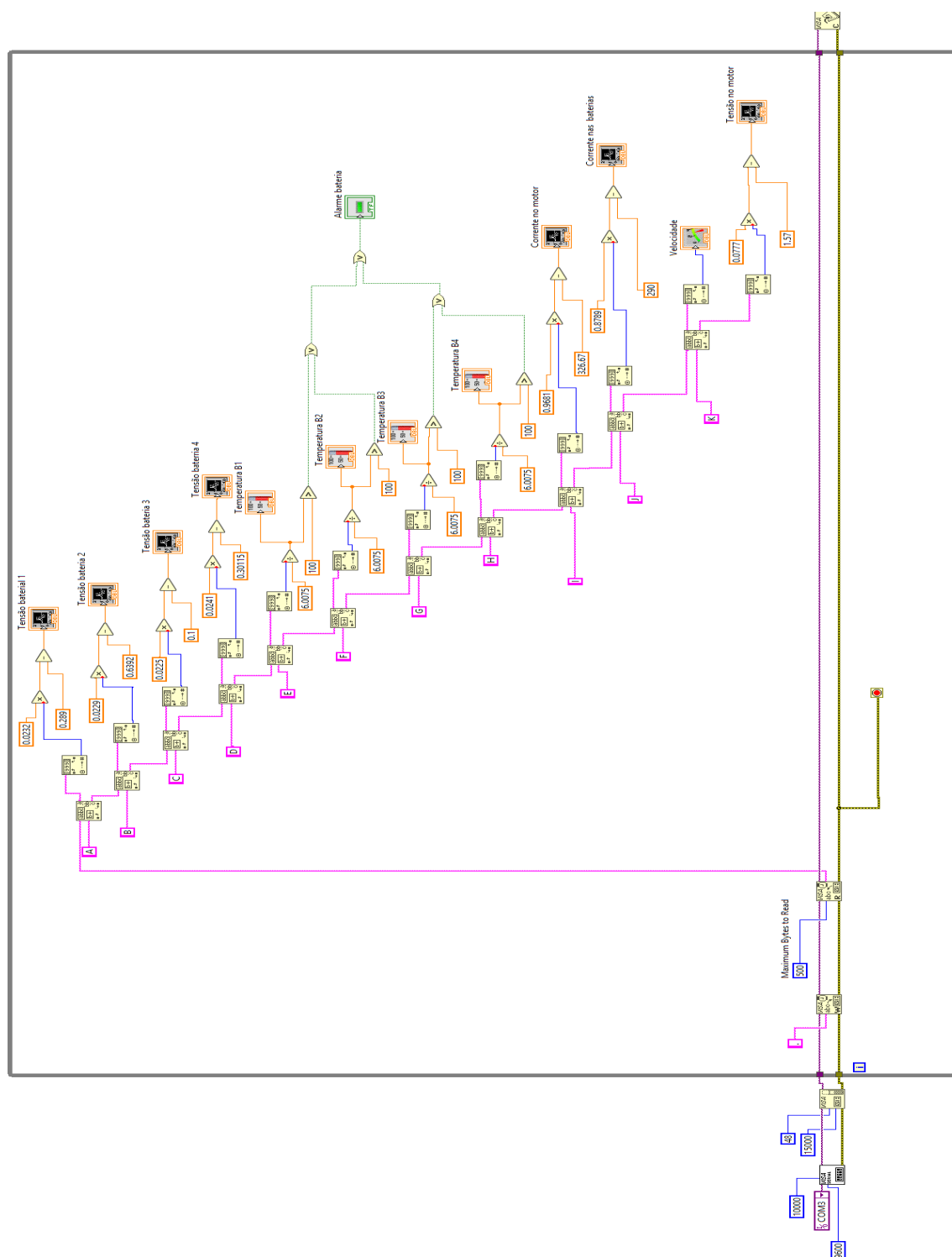


Fonte: LabVIEW®.

5.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA.

A construção da interface virtual no LabVIEW® necessitou da programação mostrada na Figura 5.13.

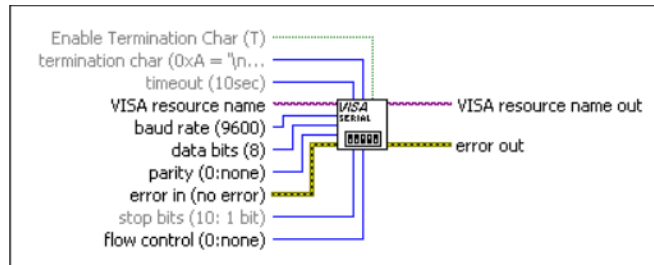
Figura 5.13. Programação visual em LabVIEW® da interface virtual remota.



Fonte: LabVIEW®.

O diagrama é composto primeiramente pelo bloco VISA Serial, sua estrutura para programação está na Figura 5.14.

Figura 5.14. VISA configure serial port.



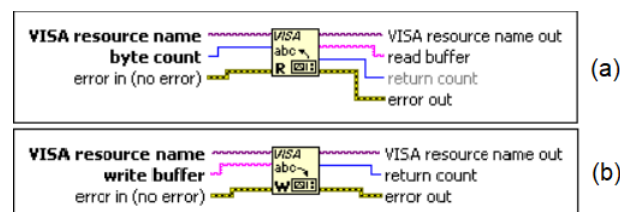
Fonte: LabVIEW®.

Este bloco inicializa a porta serial especificada, assim como as demais configurações da comunicação serial. Neste caso foram configurados o “*timeout*” que se refere ao máximo tempo de espera da porta serial para que algum dado seja enviado ou recebido, a “*VISA resource name*”, responsável pela definição da porta serial escolhida, e a “*baud rate*” que define a máxima taxa de bits transferida por segundo. Neste caso a *baud rate* máxima foi definida como 9600, para que fosse a mesma utilizada pelo módulo de rádio frequência.

O bloco sequencial (*VISA set I/O Buffer*) é responsável por definir o tamanho do *buffer* de dados.

Para o passo seguinte foram utilizados os blocos *VISA read* e o *VISA write*. Os blocos com suas portas configuráveis podem ser vistos na Figura 5.15.

Figura 5.15. Blocos para leitura e escrita na serial. (a) VISA Read. (b) VISA Write



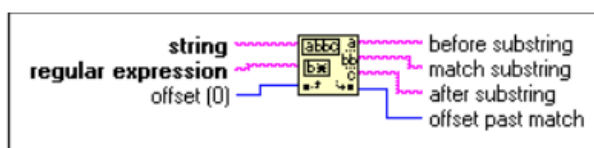
Fonte: Adaptado de LabVIEW®.

O *VISA read* possui a função de ler os dados da serial utilizando a porta *VISA resource name*, e enviar os dados para o sistema pela *VISA resource name out*. Enquanto o *VISA write* é responsável em escrever os dados do LabVIEW® para a saída da serial. Neste trabalho não foi incluída nenhuma funcionalidade que necessite

do *VISA write*, pois o sistema apenas faz a leitura dos dados enviados do microcontrolador para a interface. No entanto, possíveis modificações podem necessitar enviar dados para veículo ou piloto.

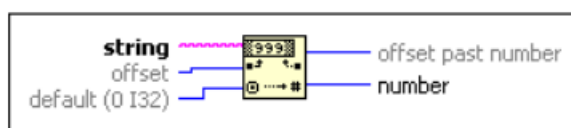
Em sequência estão os blocos “*Match Pattern Function*”, Figura 5.16, e “*Decimal String To Number Function*”, Figura 5.17. O primeiro tem como funcionalidade receber os dados que são enviados como um vetor, e os separar de forma que apenas os valores desejados sejam repassados para sua respectiva conexão seguinte. O microcontrolador envia um vetor com cada um dos dados separados por um caractere alfabético específico, assim basta utilizar a porta “*regular expression*” para informar ao software qual caractere irá delimitar a parte do vetor que contém os dados condizentes com a linha de programação, com aquela que deve ser repassada para parte seguinte do código. Enquanto o segundo tem como funcionalidade converte os dados recebidos em formato de *string* para um número inteiro decimal, necessário para que possa ser lido e interpretado pelos blocos responsáveis pela interface gráfica.

Figura 5.16. *Match Pattern Function*.



Fonte: LabVIEW®.

Figura 5.17. *Decimal String to Number Function*.

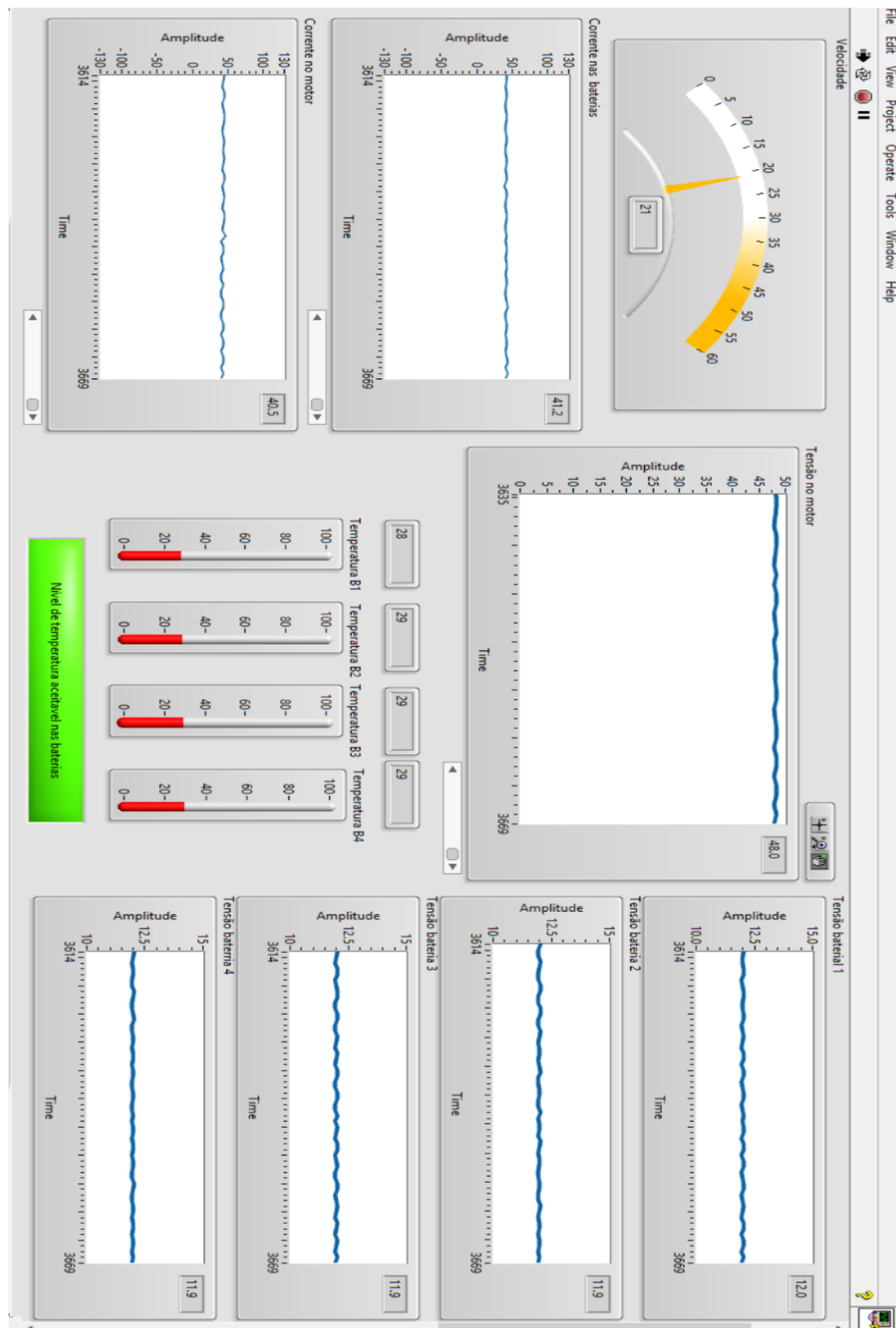


Fonte: LabVIEW®.

A última parte do código é composta pelos elementos matemáticos, responsáveis pela linearização de resposta do circuito e os blocos que irão gerar a interface gráfica, sua explicação se encontra de forma detalhada no apêndice D. O microcontrolador envia os dados em sua escala do ADC, pois como o bloco *Decimal String to Number Function* apenas envia um valor inteiro, fazer a calibração no código do microcontrolador resultaria na eliminação do valor fracionário da grandeza, e em um desvio não aceitável para as medições. A linearização do circuito converte os valores do ADC para os valores reais da medição assim como corrige os desvios e o

off-set gerado pelo sensor. Na sequência os dados são enviados para os blocos responsáveis pelos elementos que geram a interface gráfica, apresentada na Figura 5.18.

Figura 5.18. Interface homem-máquina.



Fonte: LabVIEW®.

5.5 AQUISIÇÃO DE DADOS.

Foram utilizadas duas abordagens para a aquisição dos dados do veículo. A primeira com a utilização do módulo RF conectado ao Arduino enviando dados em tempo real para a interface, e uma segunda, utilizando diretamente os dados do Arduino via serial.

Visto que o módulo RF possui uma *baud rate* de apenas 9600, isto limita as amostras retidas dos sinais, havendo a possibilidade de sinais sofrerem com o efeito de *aliasing* caso esteja com alguma frequência indesejada ou ocorram variações bruscas no sinal, o que é mais provável ocorrer com a corrente. Por isso, também pode ser utilizado uma leitura diretamente do Arduino, que salva os dados em uma memória externa.

Foi percebido que o Arduino pode fazer a aquisição de aproximadamente 2460 amostras por segundo, lendo as portas analógicas e escrevendo os dados na memória externa com uma *baud rate* de 250000. Como todos os filtros possuem uma frequência de corte de 103 Hz, é necessário que sua taxa de amostragem seja superior a 206 Hz, e tendo onze grandezas a serem amostradas, podemos fazer uma amostragem de aproximadamente 223 Hz, mais que o dobro da frequência do filtro, respeitando o teorema de Nyquist.

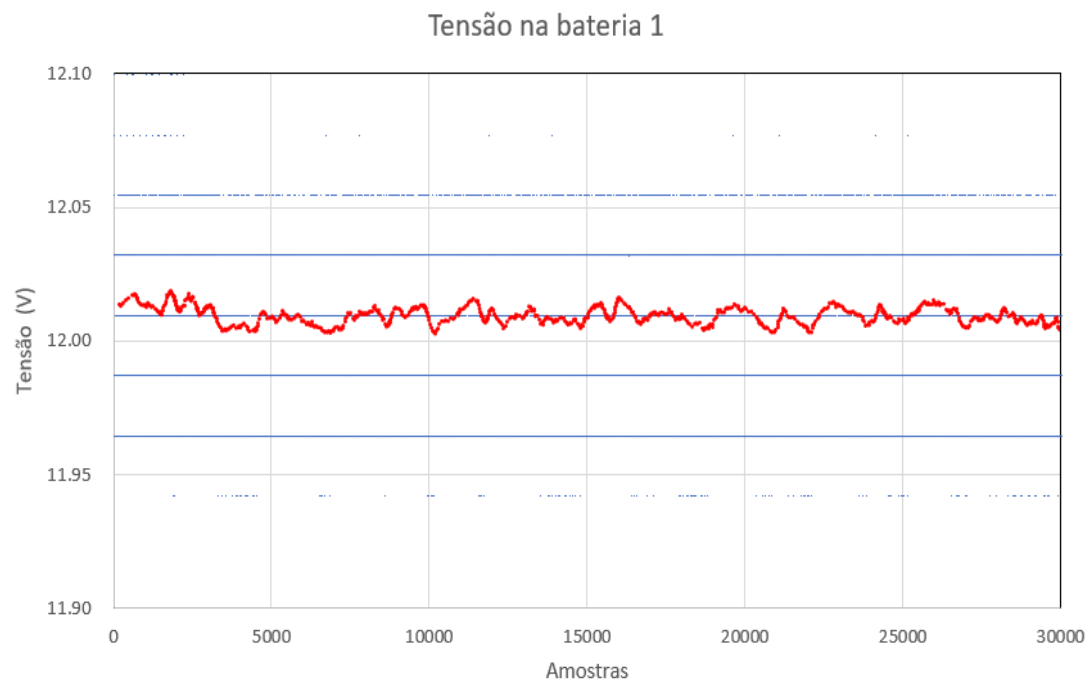
Os dados adquiridos com a utilização da memória externa que é composto por um módulo e um cartão SD apresentado na Figura 5.19, são salvos em um arquivo texto e posteriormente são importados para o software EXCEL®, onde os gráficos são gerados, permitindo analisar as correntes, tensões, potência e velocidade. Para um resultado mais próximo do real aplica-se uma média móvel aos dados amostrados. Para critérios de teste em bancas foram realizadas 30000 amostras das grandezas de tensão e corrente. Na Figura 5.20 é apresentado o resultado para a tensão em uma das baterias, quando imposto um valor fixo de 12V na entrada do circuito, e na Figura 5.21 a corrente no circuito da bateria, variando a fonte controlada de 0 a 40,5A. Os marcadores azuis apresentam as amostras retiradas pelo microcontrolador, e em vermelho o valor após a média móvel.

Figura 5.19. Módulo SD de aquisição de dados .



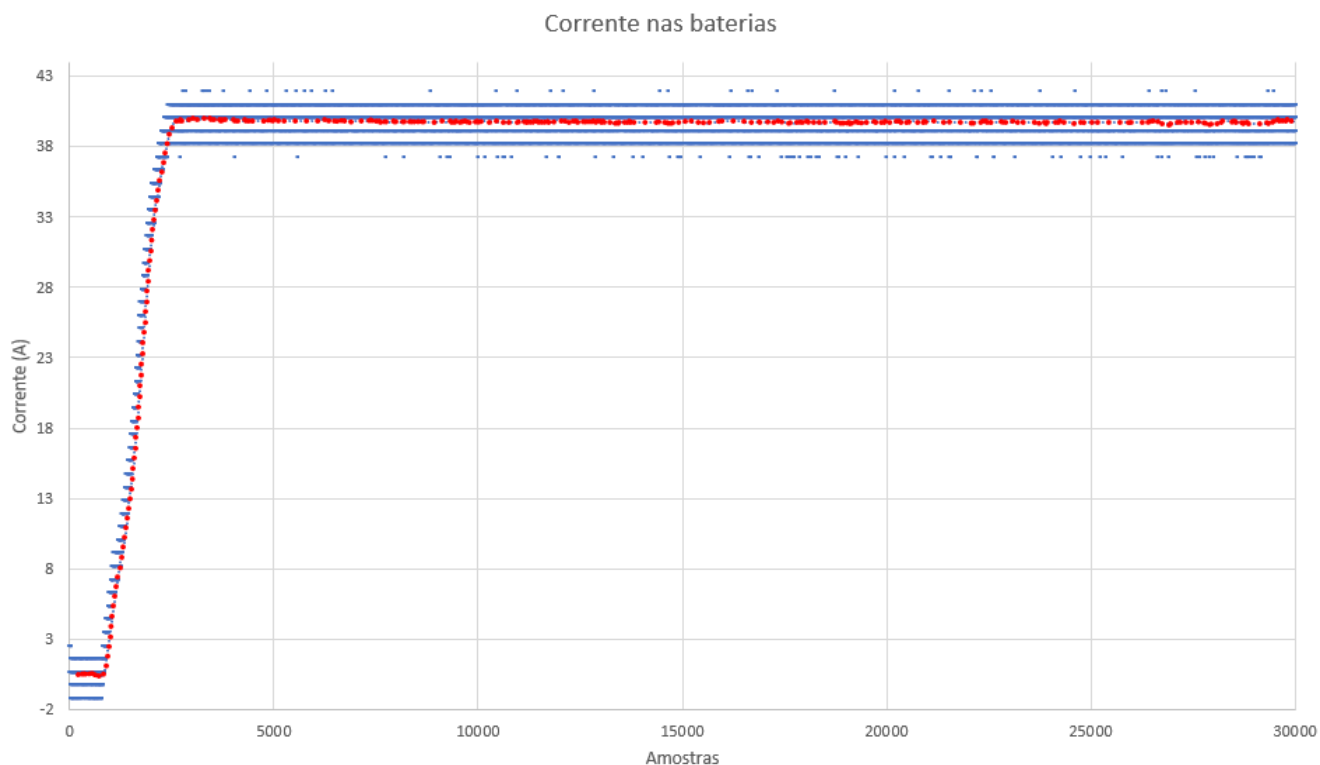
Fonte: Próprio Autor.

Figura 5.20. Tensão amostrada e a sua média móvel.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 5.21. Corrente amostrada e a sua média móvel.



Fonte: Próprio Autor.

A planilha gerada no Excel® com o uso dos dados obtidos com a memória externa estão apresentados na Figura 5.22.

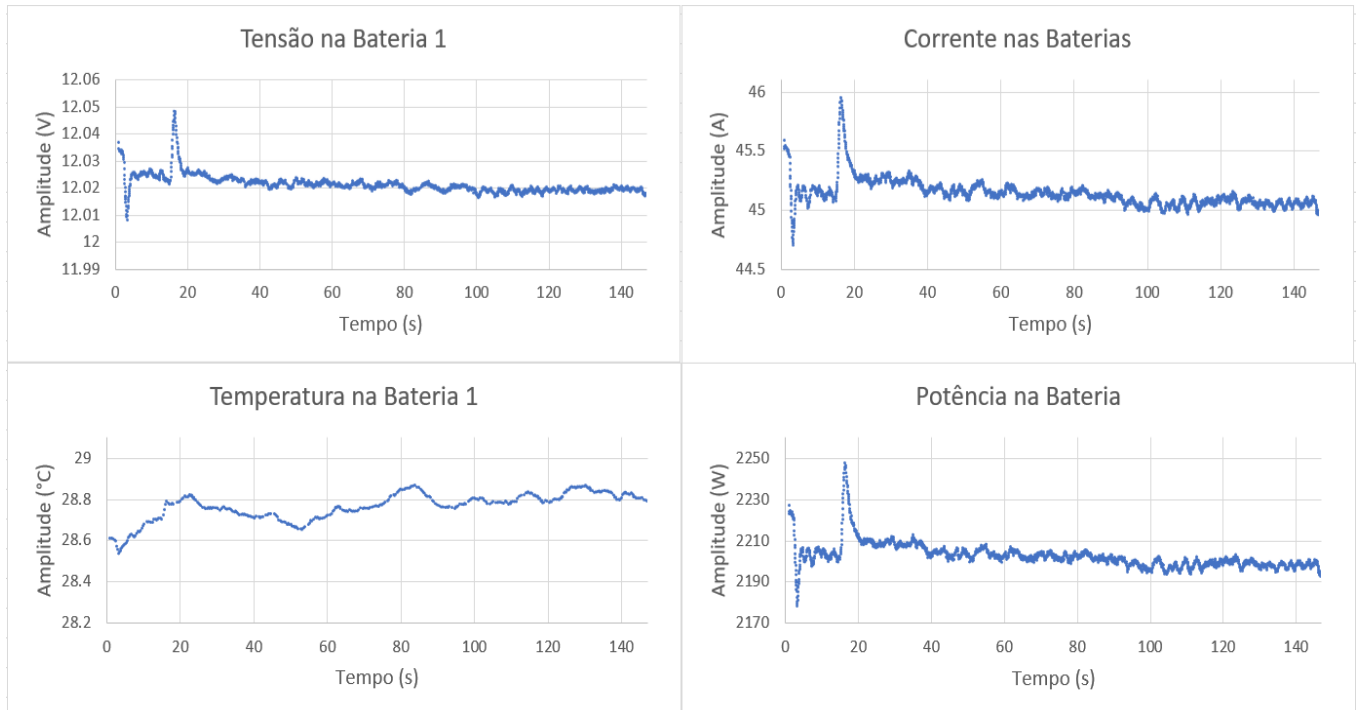
Figura 5.22. Planilha de dados gerada no Excel®.

#	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
1	Tempo (s)	Tensão (V)				Corrente (A)		Potência (W)		Temperatura (°C)				
2		Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4	Motor	Baterias	Motor	Bateria	Motor	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4
3	0	12.0766	12.1161	12.039	12.0575	46.3037	49.1031	46.3037	2417.98	2242.47	28.7973	29.1303	29.4632	29.6296
4	0.003	12.123	12.1161	12.039	12.0334	44.3675	46.4664	44.3675	2287.02	2134.91	28.7973	28.9638	29.2967	29.4632
5	0.007	12.0766	12.0245	11.9715	11.9611	44.3675	46.4664	44.3675	2273.13	2134.91	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
6	0.01	12.0766	12.0474	11.994	12.0093	46.3037	48.2242	46.3037	2364.72	2242.47	28.7973	29.1303	29.4632	29.4632
7	0.014	12.123	12.0932	12.039	12.0334	45.3356	47.3453	45.3356	2329.19	2192.06	28.7973	29.1303	29.4632	29.4632
8	0.018	12.123	12.0932	12.039	12.0334	44.3675	47.3453	44.3675	2329.19	2138.36	28.7973	29.1303	29.4632	29.4632
9	0.021	12.0766	12.0474	11.9715	11.9852	42.4313	45.5875	42.4313	2232.28	2038.45	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
10	0.025	12.0534	12.0245	11.9715	11.9611	45.3356	46.4664	45.3356	2273.13	2192.06	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
11	0.035	12.123	12.0932	12.039	12.0334	45.3356	48.2242	45.3356	2372.43	2192.06	28.7973	29.1303	29.4632	29.4632
12	0.039	12.007	11.9787	11.904	11.9129	41.4632	43.8297	41.4632	2134.11	1982.27	28.6309	28.7973	29.1303	29.2967
13	0.043	11.9838	11.9558	11.9265	11.9129	43.3994	45.5875	43.3994	2220.7	2088.33	28.6309	28.7973	29.2967	29.2967
14	0.046	12.0766	12.0474	11.994	11.9852	43.3994	46.4664	43.3994	2277.41	2088.33	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
15	0.05	12.0766	12.0245	11.994	11.9852	43.3994	46.4664	43.3994	2276.34	2084.95	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
16	0.053	12.0302	12.0245	11.949	11.937	41.4632	44.7086	41.4632	2184.05	1982.27	28.6309	28.9638	29.1303	29.2967
17	0.057	11.9838	11.9558	11.904	11.9129	42.4313	44.7086	42.4313	2175.88	2031.85	28.6309	28.7973	29.1303	29.2967
18	0.061	12.0302	12.0016	11.949	11.9611	44.3675	46.4664	44.3675	2269.98	2134.91	28.6309	28.9638	29.4632	29.4632
19	0.064	12.0766	12.0245	11.9715	11.9852	43.3994	46.4664	43.3994	2274.25	2088.33	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
20	0.068	12.0534	12.0474	11.994	11.9852	42.4313	45.5875	42.4313	2234.33	2035.15	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
21	0.071	12.007	11.9787	11.904	11.9129	41.4632	43.8297	41.4632	2134.11	1982.27	28.4644	28.7973	29.1303	29.2967
22	0.084	12.0998	12.0474	11.9715	11.9852	43.3994	46.4664	43.3994	2275.32	2084.95	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
23	0.088	12.0302	12.0016	11.9265	11.9129	41.4632	43.8297	41.4632	2137.08	1982.27	28.6309	28.7973	29.2967	29.1303
24	0.091	11.9838	11.9558	11.904	11.9129	42.4313	44.7086	42.4313	2175.88	2035.15	28.4644	28.7973	29.1303	29.2967
25	0.095	12.0534	12.0245	11.994	11.9852	44.3675	46.4664	44.3675	2276.34	2134.91	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
26	0.098	12.0534	12.0474	11.9715	11.9852	44.3675	46.4664	44.3675	2275.32	2134.91	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
27	0.102	12.0766	12.0245	11.9715	11.9611	42.4313	44.7086	42.4313	2187.14	2031.85	28.6309	28.9638	29.2967	29.2967
28	0.105	12.007	11.9558	11.904	11.9129	41.4632	44.7086	41.4632	2175.88	1985.49	28.4644	28.7973	29.1303	29.1303
29	0.109	12.007	11.9787	11.9265	11.937	43.3994	46.4664	43.3994	2265.7	2088.33	28.6309	28.9638	29.1303	29.2967
30	0.113	12.0766	12.0474	11.9715	11.9852	43.3994	46.4664	43.3994	2275.32	2088.33	28.7973	28.9638	29.2967	29.2967
31	0.116	12.0534	12.0474	11.9715	11.9852	43.3994	45.5875	43.3994	2232.28	2084.95	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632
32	0.128	12.0534	12.0245	11.9715	11.9852	44.3675	46.4664	44.3675	2274.25	2134.91	28.6309	28.9638	29.2967	29.4632

Fonte: Próprio Autor.

Com estes dados é possível gerar os gráficos das grandezas. Os gráficos para tensão e temperatura na primeira bateria, corrente nas baterias e potência nas baterias estão apresentados na Figura 5.23, onde a análise foi aplicada para pouco mais de 147 segundos mantendo as grandezas sem variação na bancada de testes. As curvas de todas as grandezas estão no apêndice K.

Figura 5.23. Gráficos da aquisição de dados gerados no Excel®.



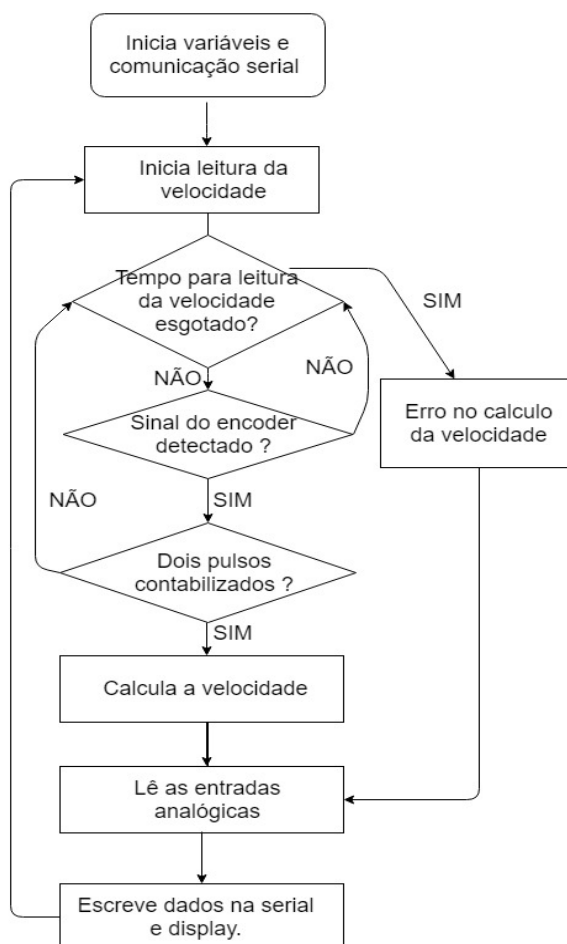
Fonte: Próprio Autor.

5.6 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ARDUINO.

A programação do Arduino foi realizada em linguagem C. O diagrama de blocos é apresentado na Figura 5.24. Ele é uma maneira genérica de se representar um código, uma vez que com este é possível reconstruí-lo em qualquer linguagem de programação, e representa a rotina realizada pelo código. A programação é constituída do cálculo da velocidade, onde são obtidos dois pulsos de sinal do encoder e com o tempo entre eles é calculada a velocidade. Caso os sinais do encoder necessários não sejam detectados durante um tempo máximo pré-determinado, o que pode ocorrer no caso de o veículo estar parado, não há leitura da velocidade. Na sequência é realizada a aquisição dos dados das entradas analógicas, e os dados são

enviados para a interface e *display* do piloto. O *display* em funcionamento é apresentado no apêndice H.

Figura 5.24. Diagrama de blocos da programação do Arduino para as medições no veículo.



Fonte: Próprio Autor

O diagrama de blocos do código para o módulo SD é apresentado na figura 5.25. Nele apresenta-se o código principal e a sub-rotina de interrupção gerada pela detecção do encoder.

Figura 5.25. Diagrama de blocos da programação do Arduino para as medições com módulo de cartão SD.



Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos em bancada foram adequados para comprovar o correto funcionamento dos circuitos projetados e construídos.

Como o veículo não estava disponível para a instalação dos circuitos e testes, não é possível dizer se alguma adaptação seria necessária, no entanto como o maior problema ocasionado para este trabalho seria o ruído, haveria, portanto, a possibilidade de uma blindagem da placa e a utilização de cabos blindados.

Foi desenvolvida uma nova placa com todas as correções necessárias e esta seria instalada no veículo, isto não ocorreu pelo fato de não poderem ser realizados testes no veículo.

O módulo RF utilizado possui uma *baud rate* baixa, assim com ele não é possível transferir todos os pontos de dados obtidos pela taxa de amostragem necessária, então foi necessário a utilização de uma memória externa ao Arduino.

A interface em LabVIEW® apresentou o funcionamento adequado, assim como os gráficos no Excel®, descreveram adequadamente as grandezas que deveriam mostrar. Assim, o LabVIEW® é utilizado quando se quer uma abordagem de análise em tempo real com o módulo de Rádio frequência e o Excel® para os dados armazenados pelo cartão SD, que embora não seja em tempo real, há a garantia de obter dados com taxas de amostragem adequadas para análise matemática posterior.

O teste do módulo *wireless* não foi realizado com a distância esperada de até dois quilômetros, limitando-se aos testes em bancada. Assim serão necessários testes futuros com a aplicação no veículo para confirmar seu adequado funcionamento, uma vez que o fabricante informa um alcance de até 4 quilômetros em seu *datasheet*.

6.1 TRABALHOS FUTUROS.

Como proposta para continuidade deste trabalho são sugeridas as seguintes atividades:

- Instalação da segunda versão da telemetria desenvolvida, no kart elétrico, e execução de extensos testes para aprimoramento das suas funcionalidades e correção de possíveis erros de hardware e software;
- Instalação de um acelerômetro no sistema de telemetria do veículo;

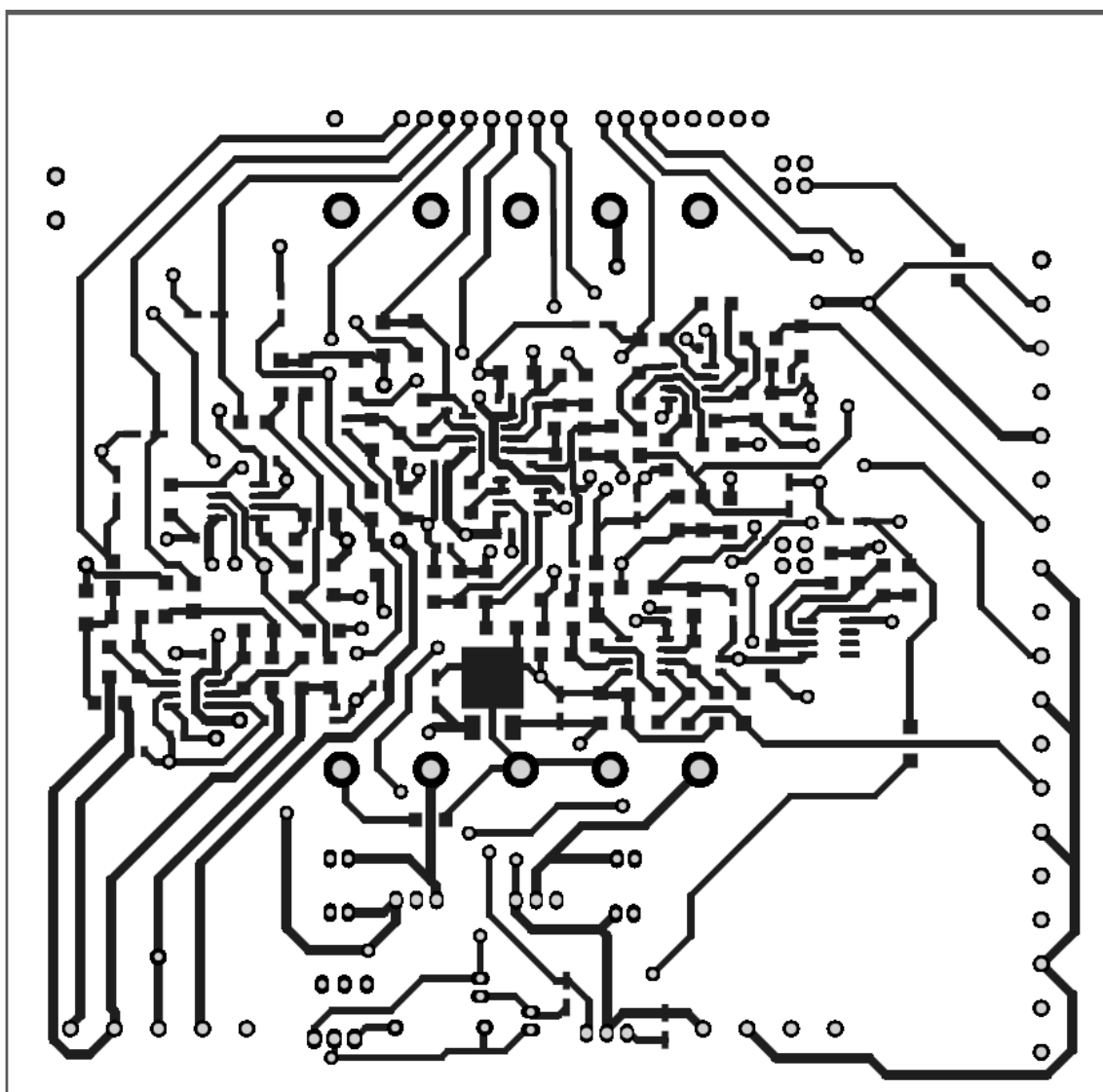
- Inclusão da medição de temperatura do motor;
- Substituição do módulo *wireless* por outro de maior taxa de transferência de dados para permitir transferir todos os dados em tempo real.

APÊNDICES.

APÊNDICE A – *Layout* final da placa com os circuitos de condicionamento.

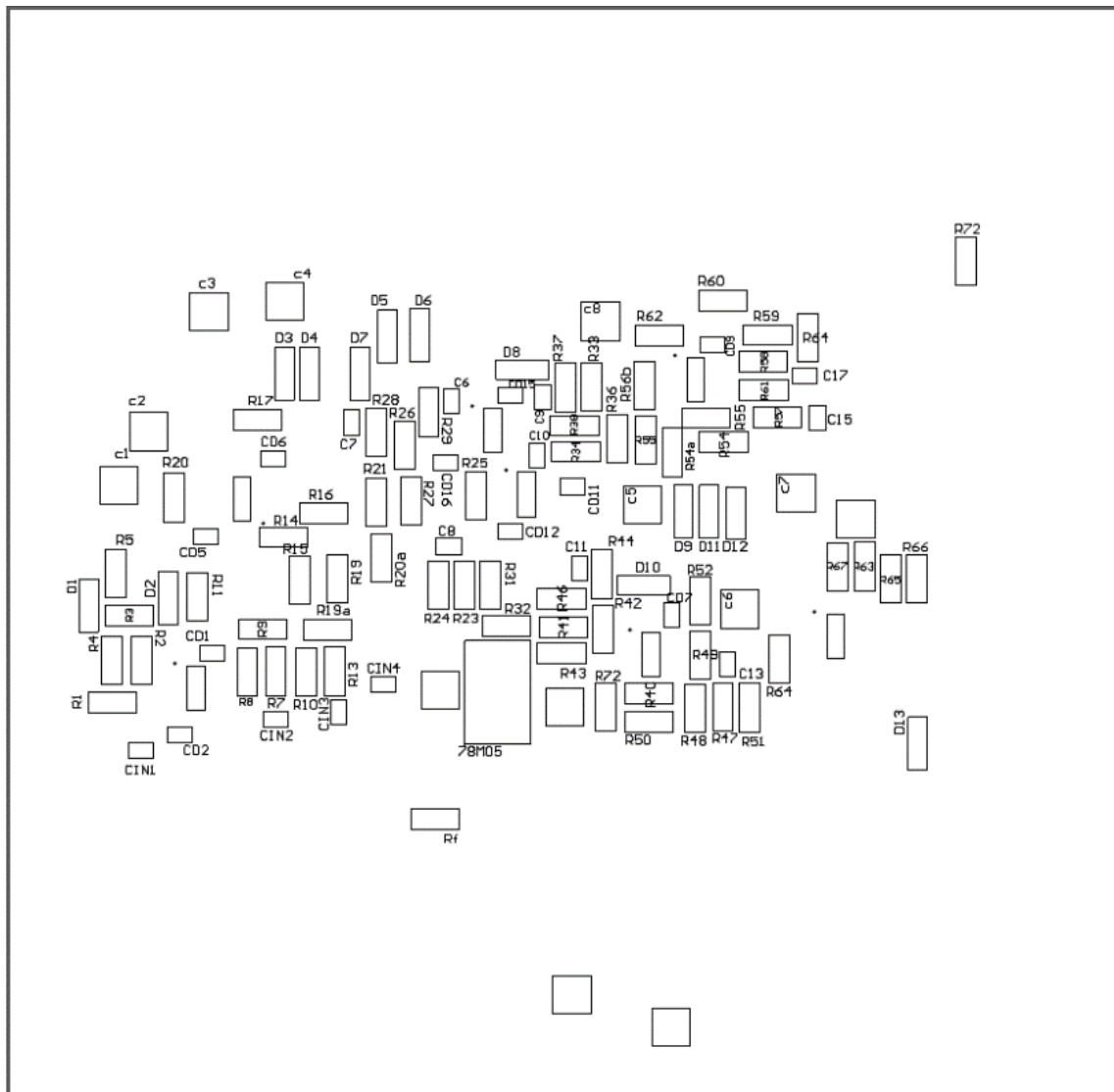
A seguir são apresentados os *layouts* da placa com os circuitos de condicionamento que foram desenvolvidos utilizando o software Altium designer®. As Figuras A-1 e A-2 apresentam o *layout* inferior da placa. As Figuras A-3 e A-4 apresentam o *layout* superior.

Figura A-1. *Layout* inferior da placa de circuito impresso



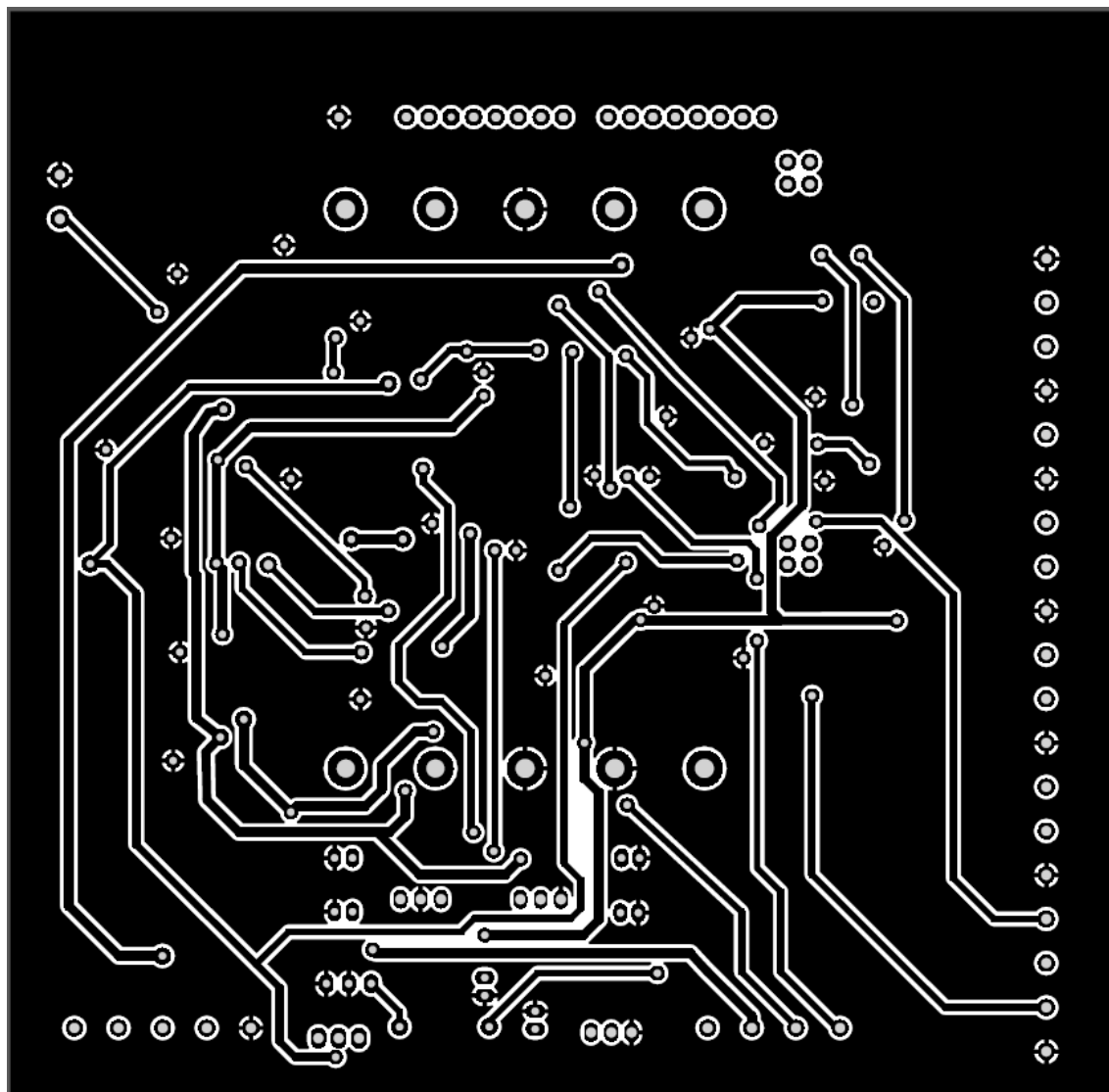
Fonte: Próprio Autor

Figura A-2. Serigrafia inferior da placa de circuito impresso



Fonte: Próprio Autor

Figura A-3. Layout superior da placa de circuito impresso



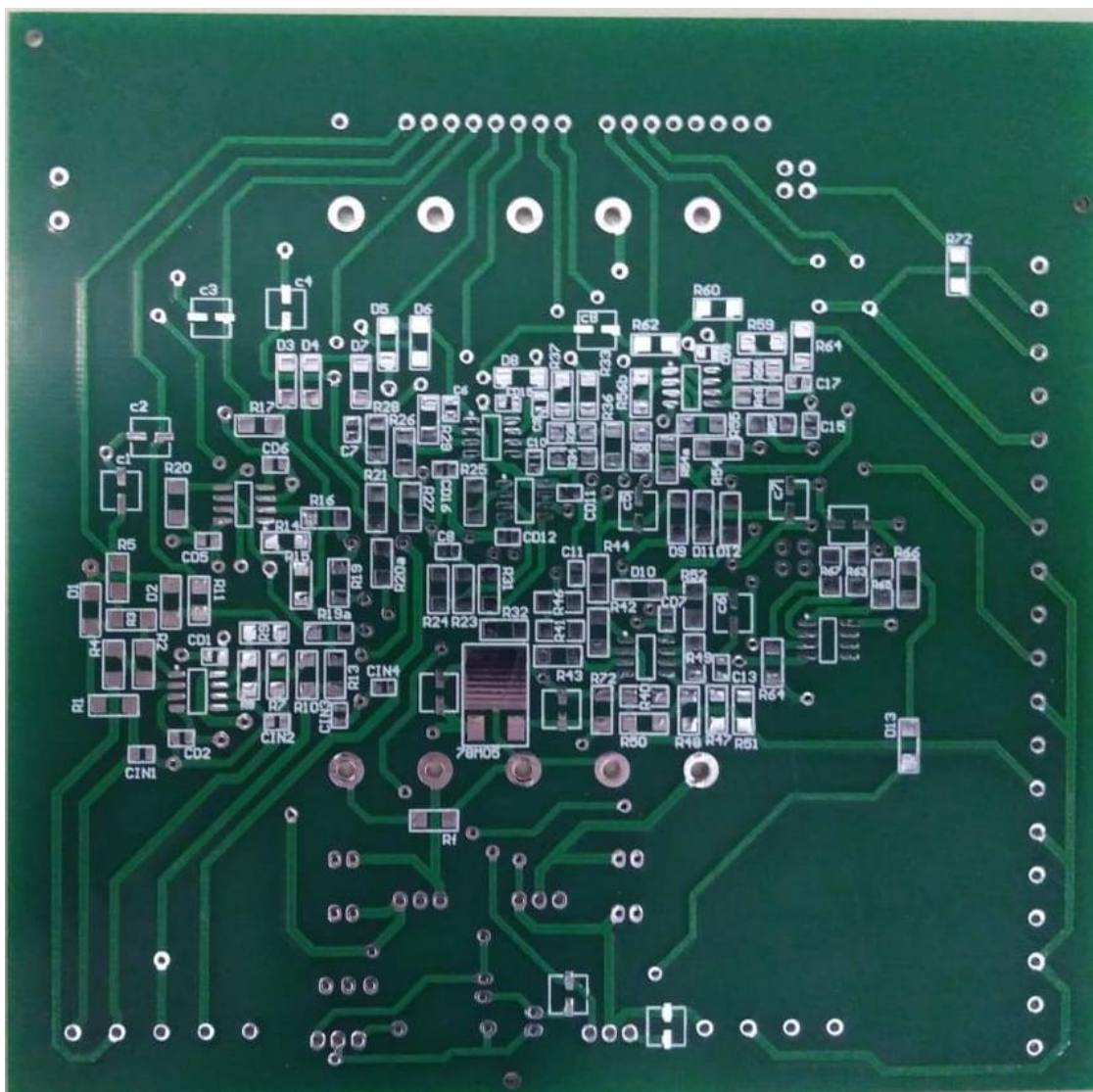
Fonte: Próprio Autor

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE B – Placa industrial.

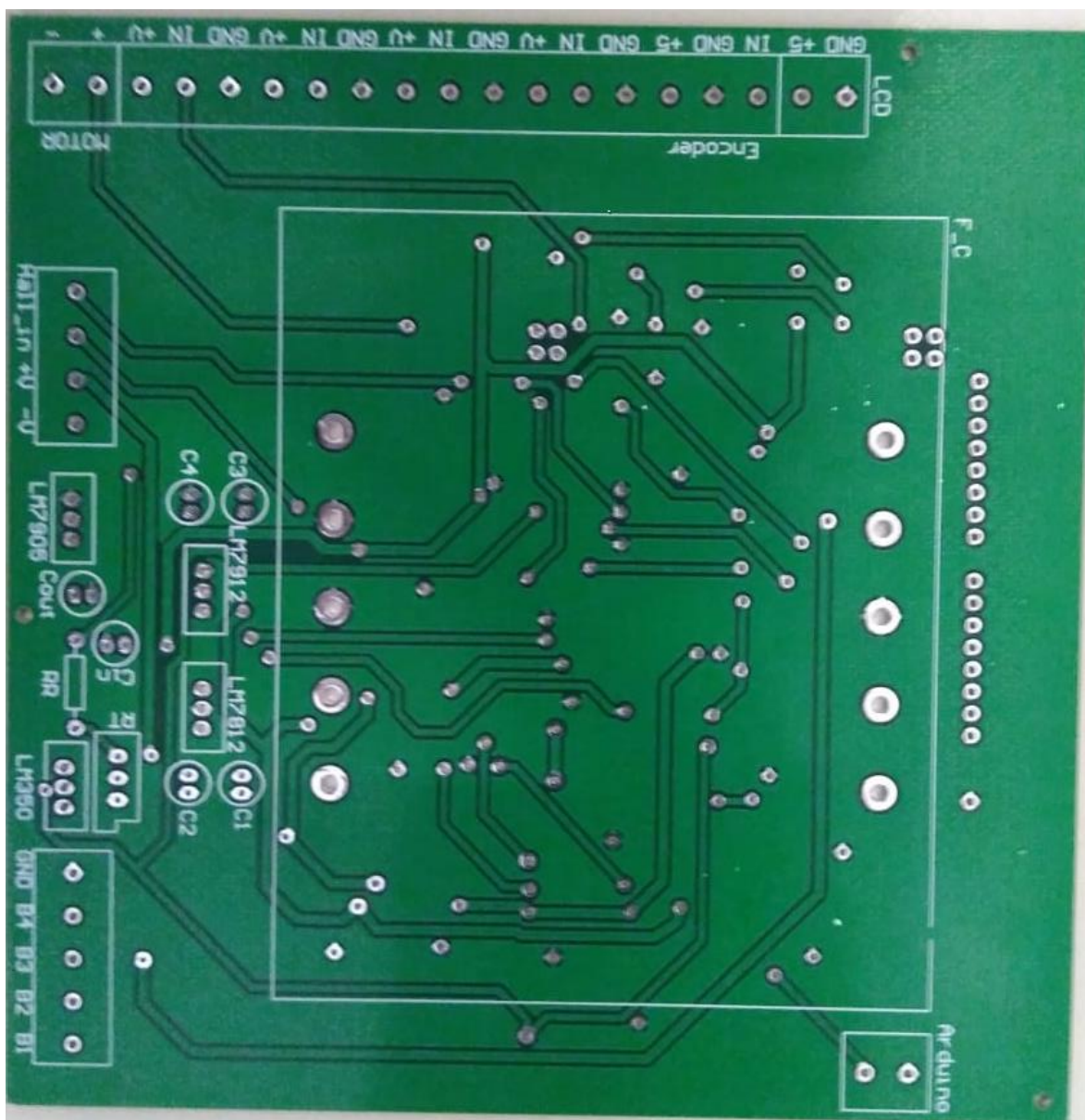
As Figuras B-1 e B-2 apresentam o *layer* inferior e superior respectivamente das placas desenvolvidas de forma industrial.

Figura B-1. Vista inferior placa industrial.



Fonte: Próprio Autor

Figura B-2. Vista superior placa industrial.

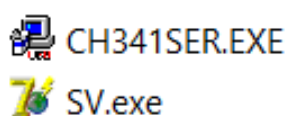


Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE C – Configuração do módulo wireless.

Para o funcionamento do módulo de comunicação wireless deve-se instalar apenas o drive apresentado com o nome “CH341SER.exe”, que permite que o computador reconheça os dados enviados pelo módulo na serial. Também é possível configurar algumas propriedades do módulo com o arquivo “SV.exe”. Os arquivos podem ser vistos nas figuras C-1.

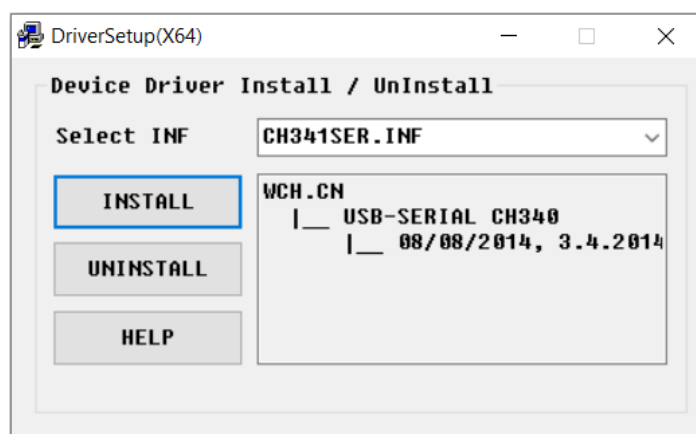
Figura C-1. Drivers para módulo RF.



Fonte: Próprio Autor

Executando o arquivo do driver abrirá a janela de instalação do driver, Figura C-2, sem alterar nenhuma configuração seleciona-se a opção “install”, e a instalação é iniciada.

Figura C-2. Janela de instalação do driver.



Fonte: Próprio Autor

O arquivo “SV.exe” permite a configuração das condições de operação do módulo, para isso basta selecionar a porta em que o modulo está conectado e selecionar a opção “OPEN”. Para esta aplicação não há necessidade de modificações. A janela e apresentada na Figura C-3.

Figura C-3. Janela de configuração do módulo RF.

SV Module Communication Tools

×

**NiceRF**
思为无线

??????????????
NiceRF Wireless Technology Co., Ltd
TEL:0755-61596687 www.nicerf.com

Model Version

COM1
OPEN

Net Parameters
NET ID 00000000 NODE ID 0000
AUTO ADD 1 ☒

SET

Serial Parameters
Baud Rate 9600 Parity None
Data bit 8 Stop 1

READ

RF Parameters
Band 433 Data Rate 9600
Channel 20 Power 7
Frequency 433.92 MHz

DEFAULT

HELP

?????: <http://nicerf-sz.taobao.com>

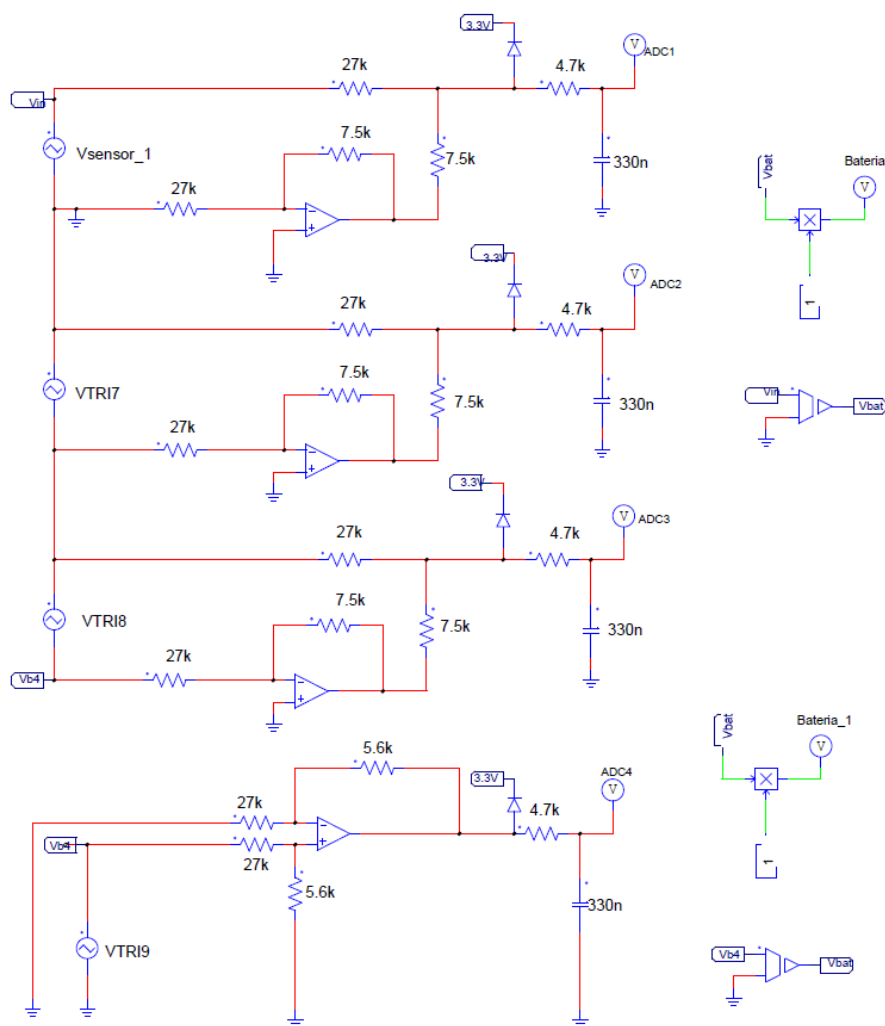
Device Not Found !

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE D – Circuitos simulados.

São aqui apresentados os circuitos de simulação no Psim®. Para obtenção da tensão de entrada das baterias foi utilizado o circuito da Figura D-1.

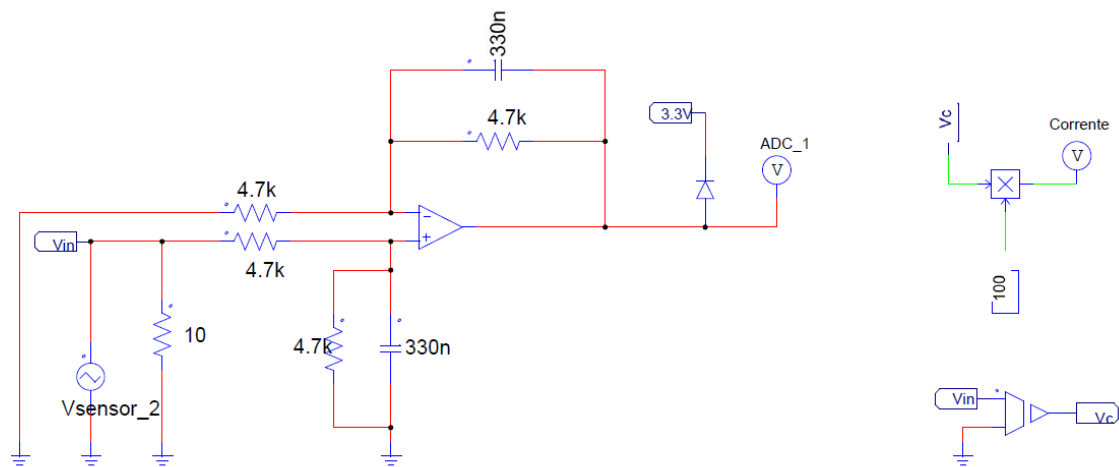
Figura D-1. Circuito de simulação para o condicionamento de tensão nas baterias.



Fonte: Próprio Autor

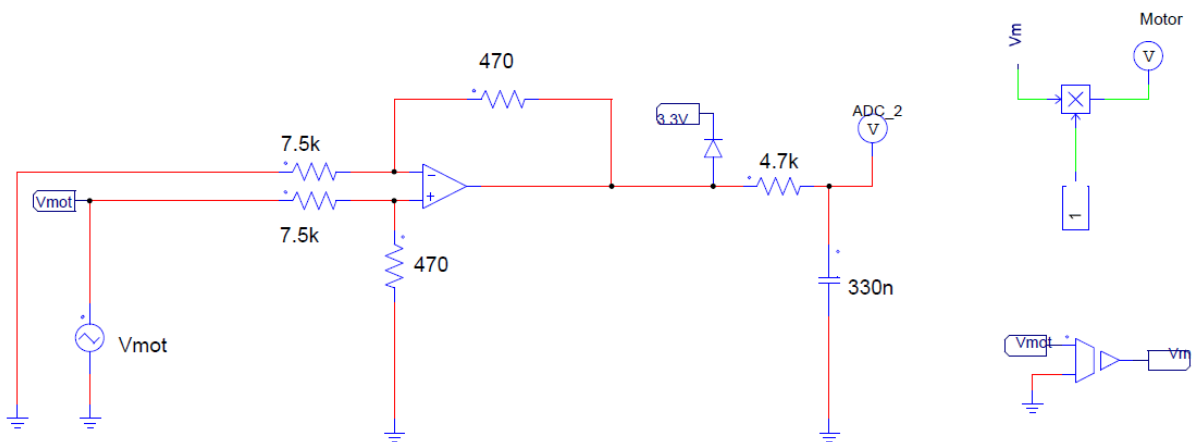
Nas Figuras D2 e D3 apresenta-se os circuitos de corrente e tensão no motor, respectivamente.

Figura D-2. Circuito de simulação para o condicionamento da corrente nas baterias e no motor.



Fonte: Próprio Autor

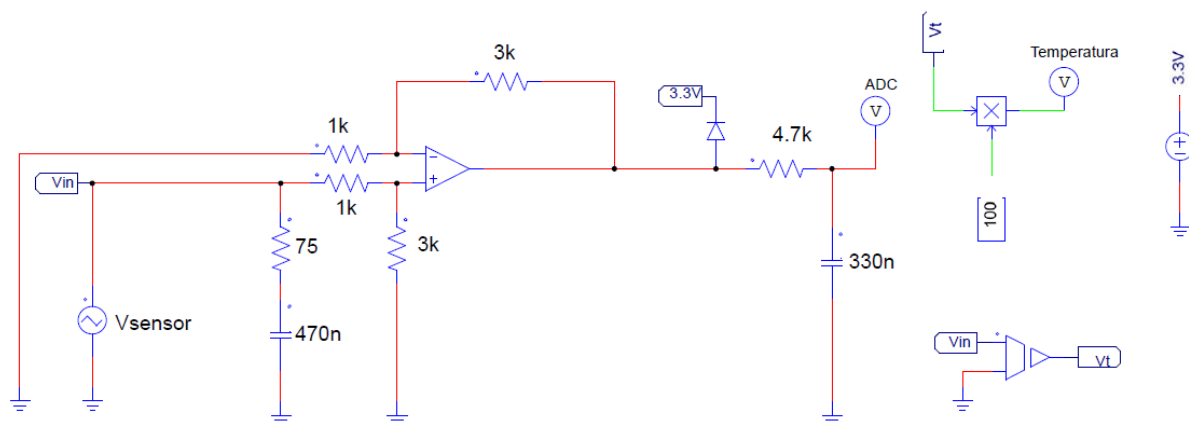
Figura D-3. Circuito de simulação para o condicionamento de tensão no motor



Fonte: Próprio Autor

O circuito de condicionamento do sensor de temperatura das baterias é mostrado na Figura D-4.

Figura D-4. Circuito de simulação para o condicionamento de temperatura nas baterias.

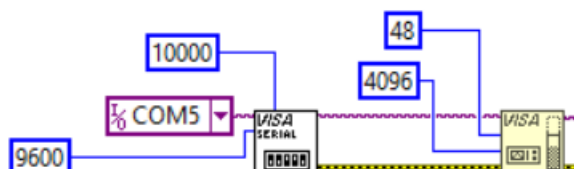


Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE E –Interface em LabVIEW®.

Aqui são apresentadas as etapas de funcionamento do código em LabVIEW®. A primeira parte do código, Figura E-1, apresenta a configuração da porta serial.

Figura E-1. Configuração *VISA serial* e *VISA Set I/O Buffer Size Function*

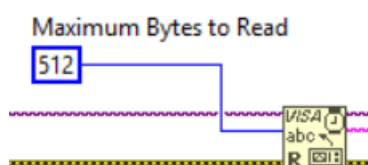


Fonte: Próprio Autor

O primeiro bloco *VISA serial* é configurado com o tempo máximo para receber os dados da serial (neste caso 10000 milissegundos). Para a definição da porta que receberá os dados da serial basta que se selecione a porta desejada na janela I/O, aqui está selecionada a porta COM5. Então seleciona-se a taxa de transmissão/recebimento de dados, nesse caso foi selecionada uma taxa de 9600 devido a utilização do módulo RF. O bloco seguinte (*VISA Set I/O Buffer Size Function*), define as configurações do buffer, utilizando o valor do *mask* 48 tem-se a possibilidade de leitura e escrita no buffer. Também é possível configurá-lo apenas para escrita com o valor do *mask* de 32 ou apenas para leitura alterando o valor para 16. A configuração do tamanho dos dados do buffer é feita na entrada *size* onde define-se o número máximo de *bytes* esperado, neste caso foram utilizados o valor de 4096, maior que o esperado, para que não houvessem erros.

O bloco responsável pela leitura de dados é o *VISA Read*, Figura E-2, nele basta que seja configurado o número máximo de *bytes* a serem lidos (*byte count*).

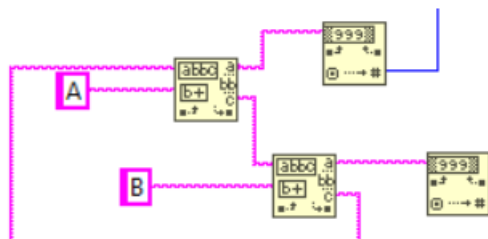
Figura E-2. Configuração *VISA read*



Fonte: Próprio Autor

Os dados recebidos são transmitidos para o bloco *Match Pattern Function*, que separa o vetor de dados pelo caractere escolhido. Aqui foram utilizados caracteres alfabéticos, assim o que se encontra depois do caractere é enviado para o bloco *Match Pattern Function* seguinte e o que se encontra antes é enviado para o bloco *Decimal String To Number Function* que transforma os dados para valores numéricos.

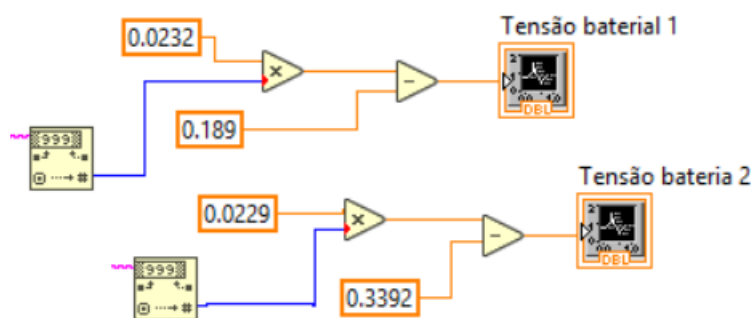
Figura E-3. Configuração dos blocos *Match Pattern Function* e *Decimal String To Number Function*



Fonte: Próprio Autor

Após o recebimento dos dados a partir do bloco *Match Pattern Function* há a conversão dos valores recebidos para suas devidas grandezas com a utilização dos blocos matemáticos onde se aplica a equação de linearização para os valores. Na sequência os dados são repassados para seus devidos mostradores ou gráficos. Esta etapa do diagrama é apresentada na Figura E-4.

Figura E-4. Configuração dos blocos matemáticos para linearização dos dados e mostradores gráficos.

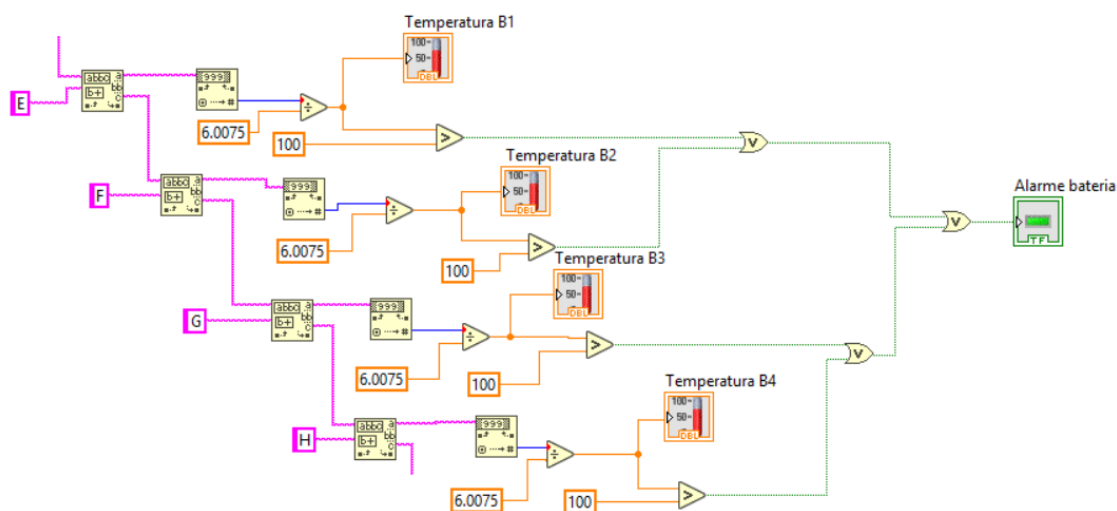


Fonte: Próprio Autor

Para um melhor controle podem ser aplicados alarmes para os limites dos valores, neste caso aplicou-se um alarme para o limite de temperatura, para isso o código utiliza os blocos *Greater function* que compara o valor de cada bateria com o

valor máximo permitido e caso o valor da leitura de temperatura ultrapasse o máximo estipulado sua saída muda para nível lógico alto, e o conjunto de blocos *Or function* que aciona o alarme. A configuração dos blocos do alarme é apresentada na Figura E-5.

Figura E-5. Configuração dos blocos para gerar o alarme.



Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE F – Conexões módulo *wireless* no Arduino Mega®.

As conexões para o módulo RF no Arduino Mega® podem ser vistas na Tabela F-1.

Tabela F-1. Conexões do módulo RF no Arduino Mega® .

Pino no módulo RF	Pino no Arduino Mega®
VCC	3,3V
GND	GND
TXD	0
RXD	1
SET	Não conectado
CS	Não conectado

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE G – Conexões módulo de cartão SD no Arduino Mega®.

As conexões do módulo micro SD no Arduino Mega® estão apresentadas na Tabela G-1.

Tabela G-1. Conexões do módulo de cartão micro SD no Arduino Mega®.

Pino modulo SD	Pino Arduino Mega®
VCC	5V
GND	GND
MOSI	51
MISO	50
SCK	52
CS	53

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE H – Display LCD para leitura da velocidade

O display LCD escolhido para este projeto é um display 16x2, ele apresentado na Figura H-1, já com as configurações para leitura da velocidade.

Figura H-1. *Display LCD 16x2 para apresentar velocidade do kart para o piloto.*



Fonte: Próprio Autor

As conexões com o microcontrolador Arduino estão na Tabela H-1.

Tabela H-1. Conexões do *display LCD 16x2* no Arduino Mega®.

Pino no display	Pino no Arduino Mega®
VSS	GND
VDD	VCC
VO	VCC
RS	8
R/W	GND
E	9
D0	Não conectado
D1	Não conectado
D2	Não conectado
D3	Não conectado
D4	4
D5	5

D6	6
D7	7
A	VCC
K	GND

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE I –Código para Arduino com módulo de Rádio Frequência

A seguir nas Figuras I-1 até I-5 é apresentado o código do Arduino Mega® programado para utilizar junto ao módulo de rádio frequência. A primeira parte do código apresenta a inclusão das bibliotecas e variáveis utilizadas, juntamente com o *setup* onde é inicializada a comunicação serial, display e configurações dos pinos do Arduino.

Figura I-1. Código para configurações no Arduino Mega® com o módulo RF.

```
#include "LiquidCrystal.h"                //Biblioteca para display

LiquidCrystal lcd(8,9,4,5,6,7);

char vet_vel[]={ '0','1','2','3','4','5','6','7','8','9' }; //Vetor de char numérico
char vet_print_vel[3]; //Vetor para escrever a velocidade
int cont=0;

int pvb1 = A0 ; //Definição dos pinos analogicos;
int pvb2 = A1;
int pvb3 = A2;
int pvb4 = A3;
int ptb1 = A6;
int ptb2 = A7;
int ptb3 = A8;
int ptb4 = A9;
int pib = A4;
int pim = A5;
int pmot = A10;

int p_enc = 52 ; //definição pino do encoder
int dist = 0.81; //distancia percorrida pela roda do veiculo em uma revolução;
int time_fix1 ; //Variável de tempo fixo para calculo de velocidade
int time_tot ; //Variável de tempo total entre os pulsos do encoder;
int time_exp ; //Variável de tempo que define tempo maximo para cálculo da velocidade;
int time_fix2; //Variável de tempo fixo para calculo de velocidade
int time_max=500; //Variável de tempo máximo para leitura da velocidade;
float vel=0; //Variável de velocodase do veiculo.

int time_read=0;

int i=0;

float string_val[12]; //String valores da obtidos das entradas analógicas;
char string_let[]={'A','B','C','D','E','F','G','H','I','J','K','L'}; //String de letras para Labview;
```

Fonte: Próprio Autor

Figura I-2. Código do *setup* no Arduino Mega® com o módulo RF.

```
void setup() {

  lcd.begin(16,2); // Inicia display

  pinMode(pvb1, INPUT); //Configuração pinos entradas;
  pinMode(pvb2, INPUT);
  pinMode(pvb3, INPUT);
  pinMode(pvb4, INPUT);
  pinMode(pib, INPUT);
  pinMode(pim, INPUT);
  pinMode(ptb1, INPUT);
  pinMode(ptb2, INPUT);
  pinMode(ptb3, INPUT);
  pinMode(ptb4, INPUT);
  pinMode(pmot, INPUT);
  pinMode(p_enc, INPUT);

  Serial1.begin(9600); //Inicio comunicação serial em valor aceito pelo modulo RF

}
```

Fonte: Próprio Autor

Na Figura I-3, apresenta-se a função principal que faz a leitura das portas analógicas e a escrita na serial.

Figura I-3. Código principal no Arduino Mega® com o módulo RF.

```
void loop() {                                     //Início do código principal

string_val[0]= analogRead(pvb1);                  // Leitura das variáveis e salvamento no vetor string_val
string_val[1]=analogRead(pvb2);
string_val[2]=analogRead(pvb3);
string_val[3]=analogRead(pvb4);
string_val[6]=analogRead(ptb1);
string_val[7]=analogRead(ptb2);
string_val[8]=analogRead(ptb3);
string_val[9]=analogRead(ptb4);
string_val[10]=analogRead(pmot);
string_val[4]=analogRead(pib);
string_val[5]=analogRead(pim);

    Serial1.print(string_val[0]);                  //Escreve-se valor e em seguida caracter para identificação no Labview;
    Serial1.print(string_val[1]);
    Serial1.print(string_val[2]);
    Serial1.print(string_val[3]);
    Serial1.print(string_val[6]);
    Serial1.print(string_val[7]);
    Serial1.print(string_val[8]);
    Serial1.print(string_val[9]);
    Serial1.print(string_val[4]);
    Serial1.print(string_val[5]);
    Serial1.print(string_val[11]);
    Serial1.println(string_val[10]);

velocity();                                       //Chama função para obter velocidade;

}
```

Fonte: Próprio Autor

A função que calcula a velocidade está na parte seguinte do código na Figura I-4.

Figura I-4. Código para cálculo da velocidade no Arduino Mega® com o módulo RF.

```

void velocity(){
    time_fix1 = millis();           //Função para calculo da velocidade
    time_exp = millis();            //Variavel de tempo fixa para calculos
    int cont=0;                     //Varriavel para calculo do tempo expirado

    time_exp = millis() - time_fix1; //incicia valor tempo para entrar no loop;

    while(time_exp<time_max && cont<=2 ){
        time_exp = millis()-time_fix1; //Lê a entrada do encoder espera primeiro pulso;
        while(digitalRead(p_enc) == 0 && time_exp<time_max && cont<=1){
            time_exp = millis()-time_fix1; //Primeiro pulso do encoder decorrido
            cont=1;                        //Conta tempo decorrido;
        }
        time_fix2 = millis();
        while (digitalRead(p_enc)!=0 && time_exp<time_max && cont>=1){
            time_tot = millis()- time_fix2; //Segundo pulso do encoder decorrido
            time_exp = millis()- time_fix1; //Contagem do tempo entre os pulsos do encoder
            cont=2;
        }

        if(cont==2){
            cont=3;
        }
    }

    if(time_tot<time_max && time_exp<time_max){
        vel=((dist*1000)/(time_tot))*3.6; //Caso ocorrido dois pulços do encoder inicia claculo da velocidade
        string_val[11] = vel;           //Calcula velocidade em Km/h;
    }

    if(time_tot > time_max || time_exp>time_max){ //Caso tempo total para leitura da velocidade tenha expirado, retorna o valor zero.
        string_val[11]=0;
        cont=0;
    }

    int velocidade=string_val[11];      //Inicia rotina para transformas a velociade em string de char para ser apresentada no display

```

Fonte: Próprio Autor

Então gera-se os valores a serem apresentados no display. Para isso primeiramente utiliza-se a transformação dos valores para um vetor de caracteres (*char*) apresentado na Figura I-5.

Figura I-5. Código para escrever a velocidade no *display* LCD 16x2.

```

int velocidade=string_val[11];      //Inicia rotina para transformas a velociade em string de char para ser apresentada no display

if(velocidade<10){
    vet_print_vel[0]=vet_vel[0];
    vet_print_vel[1]=vet_vel[0];
}

while (velocidade>=10){
    velocidade=velocidade-10;
    cont=cont+1;
    vet_print_vel[0]=vet_vel[cont];
}
cont=0;
while (velocidade>=1){
    velocidade=velocidade-1;
    cont=cont+1;
    vet_print_vel[1]=vet_vel[cont];
}
cont=0;

lcd.setCursor(0, 0);                //Escreve valor no display
lcd.write("velocidade");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write(vet_print_vel);
}

```

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE J –Código para Arduino com módulo SD.

O código para a utilização do módulo com cartão SD inicia com a inclusão das variáveis, e bibliotecas. Este código está na Figura J-1.

Figura J-1. Código para configuração do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD.

```
int pvb1 = A0;           //Definição dos pinos analogicos e digitais;
int pvb2 = A1;
int pvb3 = A2;
int pvb4 = A3;
int ptb1 = A6;
int ptb2 = A7;
int ptb3 = A8;
int ptb4 = A9;
int pib = A4;
int pim = A5;
int pmot = A10;
int p_enc = 19 ;
int dist = 1.57;        //Distancia percorrida pela roda do veículo por revolução;
volatile int pulsos;

#include <SPI.h>          //Bibliotecas para utilizar módulo de cartao SD.
#include <SD.h>

File myFile;

int cont=0;
```

Fonte: Próprio Autor

A função *setup*, Figura J-2, conta com a configuração dos pinos e a verificação do modulo do cartão SD. Caso a conexão não seja bem-sucedida uma mensagem de erro é apresentada.

Figura J-2. Código do *setup* do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD.

```

void setup() {
    pinMode(pvb1, INPUT);           //Configuração pinos entradas;
    pinMode(pvb2, INPUT);
    pinMode(pvb3, INPUT);
    pinMode(pvb4, INPUT);
    pinMode(pib, INPUT);
    pinMode(pim, INPUT);
    pinMode(ptb1, INPUT);
    pinMode(ptb2, INPUT);
    pinMode(ptb3, INPUT);
    pinMode(ptb4, INPUT);
    pinMode(pmot, INPUT);
    pinMode(p_enc, INPUT);

    Serial.begin(250000);           //Configuração da comunicação serial.

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(p_enc), ENC, RISING); //Interrupção para encoder.

    while (!Serial) {              //Inicio da verificação do cartão SD
    }

    Serial.print("Initializing SD card...");

    if (!SD.begin(53)) {
        Serial.println("initialization failed!");
        return;
    }
    Serial.println("initialization done.");
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE); //Cria documento de texto para salvar dados dentro do cartão SD;

    if (myFile) {
        Serial.print("Writing to test.txt...");
        myFile.println(",bat1,bat2,bat3,bat4,tb1,tb2,tb3,tb4,ibat,imot,mot");
        myFile.close();
        Serial.println("done.");
    } else {
        Serial.println("error opening test.txt");
    }
}

```

Fonte: Próprio Autor

A última parte do código, Figura J-3, apresenta a função principal onde ocorre leitura e gravação dos dados no arquivo de texto no cartão do módulo SD. Também há uma função de interrupção que incrementa a variável pulsos toda vez em que o encoder é detectado.

Figura J-3. Código principal do Arduino Mega® com o módulo de cartão micro SD.

```

void loop() {
  cont=0;
  myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);           //Abre o arquivo para iniciar salvamento dos dados;
  while(cont<30000) {
    myFile.print(analogRead(pvb1));                   //Inicia salvamento dos dados no cartão SD;
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pvb2));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pvb3));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pvb4));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(ptb1));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(ptb2));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(ptb3));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(ptb4));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pib));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pim));
    myFile.print(",");
    myFile.print(analogRead(pmot));
    myFile.print(",");
    myFile.print(pulsos);
    myFile.print(",");
    myFile.print(millis());
    myFile.println("");
    cont=cont+1;
  }
  myFile.close();
}

void ENC() {
  pulsos=pulsos+1;                                     //função de interrupção para detecção do encoder;
                                                         //incrementa numero de pulsos detectados do encoder;
}

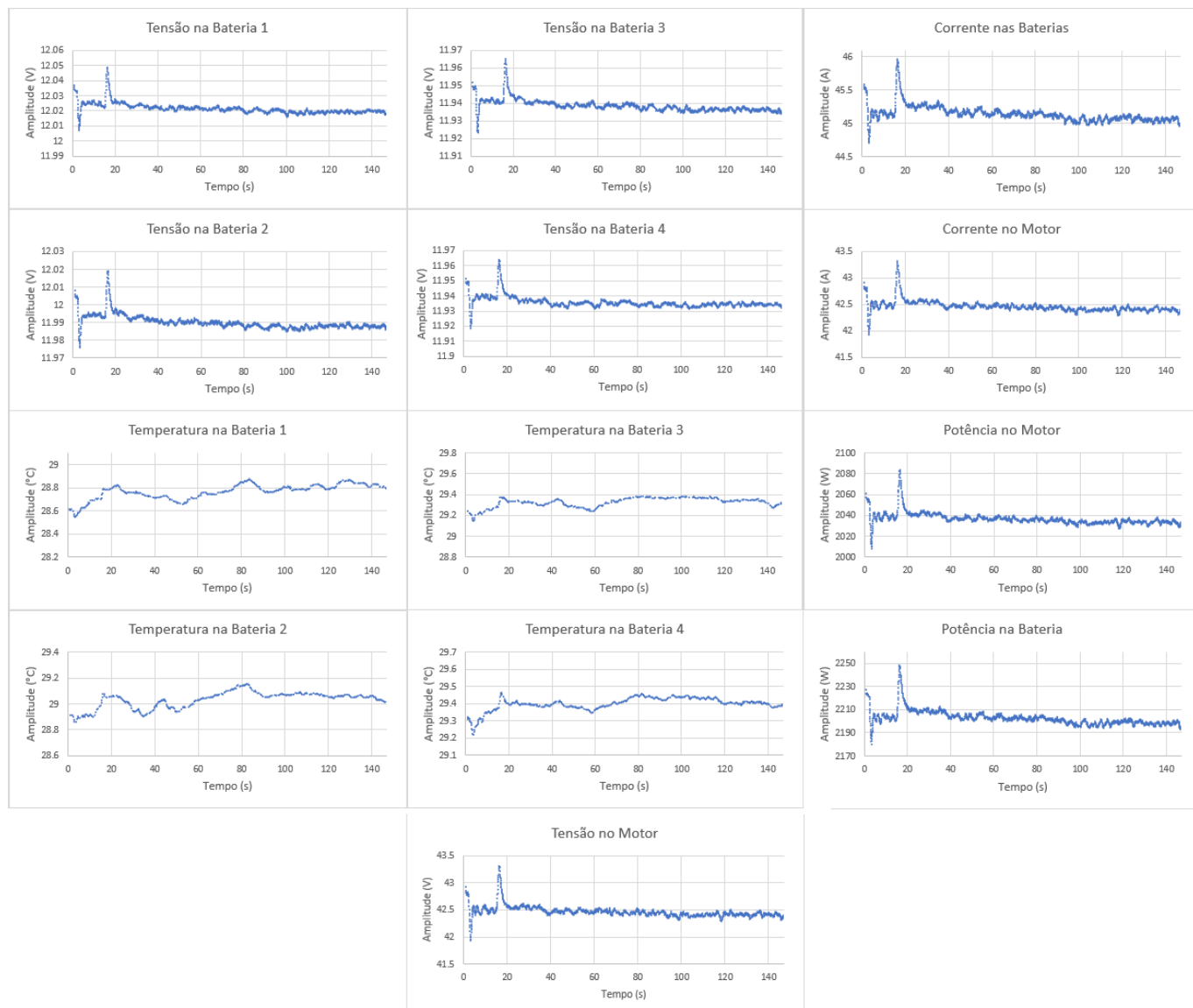
```

Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE K –Interface em Excel®

A interface em Excel® para análise de todas as grandezas esta apresentada na Figura K-1.

Figura K-1. Curvas geradas em Excel®.



Fonte: Próprio Autor

REFERÊNCIAS

- [1] COUSSEU, F. **Estudo e implementação de projeto elétrico básico de um kart movido a tração puramente elétrica**. Universidade de Caxias do Sul, Brasil, 2015.
- [2] MATTOS, A.N. **Telemetria conceitos relacionados: uma visão geral dos sistemas de telemetria com ênfase em aplicações aeroespaciais**. São José dos Campos, 2004.
- [3] GOMES. P.H.O. **Concepção de sistema de telemetria para aeronaves remotamente controladas**. UFOP, 2016.
- [4] PELICHEK, D. **Estudo de telemetria para aquisição, processamento e transmissão de dados em sistemas remotos**. Universidade de São Paulo, 2009.
- [5] BARBI, I; MARTINS, D. C. **Conversores CC-CC Básico não Isolados**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.
- [6] CASTRO, B.H.R, FERREIRA, T.T. **Veículos elétricos básicos, perspectivas e oportunidade**.p.267-310, 2010.
- [7] LACHE, R. ET AL. **Electric cars: plugged in**. Global Markets Research. Deutsche Bank, 9.6.2008.
- [8] SEIDEL, A. R. **Instrumentação aplicada**. Colégio Técnico industrial de Santa Maria, p.17, 2011.
- [9] TOMASCHITZ, F.R.S. **Controle e análise da velocidade de servos-motores de manipuladores cartesianos em uma linha automatizada de estamparia**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2013
- [10] ORLANDINI, C.B. Adaptador Isolado de comunicação serial. Universidade de São Paulo, 2011.
- [11] ORLANDINI, C.B. Adaptador Isolado de comunicação serial. Universidade de São Paulo, 2011. Apud ZANCO, W.S. **Microcontroladores PIC: técnica de Hardware e Software para projetos de circuitos eletrônicos**. São Paulo: Érica, 2008.
- [12] NETO, L.S.C. **Sensoriamento remoto para embarcações elétricas tipo catamarã**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2017.

- [13] STAVARENGO, A. A. **Telemetria de dados e imagem para plataforma autônoma para coleta de dados hidrológicos**. Universidade de São Paulo, 2006.
- [14] FONSECA, R.P.F. **Criação de interface gráfica virtual aplicada a um sistema de controle de processos**. Coimbra, 2016.
- [15] NERY, R.T.C. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Virtual para Análise de Vibração em Máquina Rotativa: Aplicação em uma Bancada Didática**. Instituto de Tecnologia da universidade Federal do Estado do Pará, 2008.
- [16] ONUKI, D.M. **Sistema de análise em frequência de filtros analógicos**. Engenharia da Computação do Centro Universitário Positivo, 2005.
- [17] RAYCIK C. J. **Projeto de um retificador de corrente reversível com alto fator de potência e controle digital implementado em DSP**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2005
- [18] HEERDT. J.A. **Carga eletrônica trifásica**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

ANEXO A – Dados do *datasheet* do transdutor de corrente LA 150P da LEM®

Electrical data				
I_{PN}	Primary nominal rms current	150		A
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 212		A
R_M	Measuring resistance @ 85 °C	R_{Mmin} R_{Mmax}		
	with ± 12 V @ ± 150 A _{max}	0 40		Ω
	@ ± 212 A _{max}	0 3		Ω
	with ± 15 V @ ± 150 A _{max}	0 78		Ω
	@ ± 212 A _{max}	0 30		Ω
I_{SN}	Secondary nominal rms current	75		mA
K_N	Conversion ratio	1 : 2000		
U_C	Supply voltage (± 5 %)	± 12 .. 15		V
I_C	Current consumption	10 (@ ± 15 V) + I_S		mA
Accuracy - Dynamic performance data				
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25$ °C	<0.5		%
ϵ_L	Linearity error	<0.1		%
		Typ	Max	
I_{OE}	Electrical offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25$ °C		± 0.10	mA
I_{OM}	Magnetic offset current @ $I_P = 0$ and specified R_M , after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.25	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O -40 °C .. +85 °C	± 0.15	± 0.30	mA
t_{ra}	Reaction time	<300		ns
t_r	Step response time ¹⁾ to 90 % of I_{PN}	<500		ns
di/dt	di/dt accurately followed	>100		A/ μ s
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150		kHz
General data				
T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85		°C
T_S	Ambient storage temperature	-40 .. +90		°C
R_S	Resistance of secondary winding @ $T_A = 25$ °C	64 $\pm$ 2		Ω
m	Mass	<25		g
	Standards	EN 50178: 1997 UL 508: 2010		

ANEXO B – Dados do *datasheet* LM35.

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage		−0.2	35	V
Output voltage		−1	6	V
Output current			10	mA
Maximum Junction Temperature, T _J max			150	°C
Storage Temperature, T _{stg}	TO-CAN, TO-92 Package	−60	150	°C
	TO-220, SOIC Package	−65	150	

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Specified operating temperature: T_{MIN} to T_{MAX}	LM35, LM35A	−55	150
	LM35C, LM35CA	−40	110
	LM35D	0	100
Supply Voltage (+ V_S)	4	30	V

apply when operating the device beyond its rated operating conditions.

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾⁽²⁾	LM35				UNIT
	NDV	LP	D	NEB	
	3 PINS		8 PINS	3 PINS	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	400	180	220	90	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$ Junction-to-case (top) thermal resistance	24	—	—	—	

6.7 Electrical Characteristics: LM35, LM35C, LM35D Limits

Unless otherwise noted, these specifications apply: $−55^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 150^{\circ}\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 110^{\circ}\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 100^{\circ}\text{C}$ for the LM35D. $V_S = 5\text{ Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50\text{ }\mu\text{A}$, in the circuit of [Full-Range Centigrade Temperature Sensor](#). These specifications also apply from 2°C to T_{MAX} in the circuit of [Figure 14](#).

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM35			LM35C, LM35D			UNIT
		TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	TYP	TESTED LIMIT ⁽¹⁾	DESIGN LIMIT ⁽²⁾	
Accuracy, LM35, LM35C ⁽³⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	±0.4	±1		±0.4	±1		°C
	$T_A = −10^{\circ}\text{C}$	±0.5			±0.5		±1.5	
	$T_A = T_{MAX}$	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	
	$T_A = T_{MIN}$	±0.8		±1.5	±0.8		±2	
Accuracy, LM35D ⁽³⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$				±0.6	±1.5		°C
	$T_A = T_{MAX}$				±0.9		±2	
	$T_A = T_{MIN}$				±0.9		±2	
Nonlinearity ⁽⁴⁾	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	±0.3		±0.5	±0.2		±0.5	°C
Sensor gain (average slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	10	9.8		10		9.8	mV/°C
		10	10.2		10		10.2	
Load regulation ⁽⁵⁾ $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	±0.4	±2		±0.4	±2		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	±0.5		±5	±0.5		±5	
Line regulation ⁽⁵⁾	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	±0.02		±0.2	±0.02		±0.2	
Quiescent current ⁽⁶⁾	$V_S = 5\text{ V}$, 25°C	56	80		56	80		μA
	$V_S = 5\text{ V}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105		158	91		138	
	$V_S = 30\text{ V}$, 25°C	56.2	82		56.2	82		
	$V_S = 30\text{ V}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	105.5		161	91.5		141	
Change of quiescent current ⁽⁵⁾	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$, 25°C	0.2	2		0.2	2		μA
	$4\text{ V} \leq V_S \leq 30\text{ V}$, $−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.5		3	0.5		3	
Temperature coefficient of quiescent current	$−40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 125^{\circ}\text{C}$	0.39		0.7	0.39		0.7	$\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$
Minimum temperature for rate accuracy	In circuit of Figure 14 , $I_L = 0$	1.5		2	1.5		2	°C
Long term stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

ANEXO C – Dados modulo encoder (MOCH22A e LM393).

■ Absolute Maximum Ratings (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Power Dissipation at (or below) 25°C Free Air Temperature	Pd	75	mW
Reverse Voltage	V _R	5	V
Forward Current	I _F	50	mA
Peak Forward Current (*1) Pulse width ≤ 100 μs, Duty cycle=1%	I _{FP}	1	A
Collector Power Dissipation	P _C	75	mW
Collector Current	I _C	20	mA
Collector-Emitter Voltage	B V _{CEO}	30	V
Emitter-Collector Voltage	B V _{ECO}	5	V
Operating Temperature	T _{opr}	-25~+85	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-40~+85	°C
Lead Soldering Temperature (*2) (1/16 inch form body for 5 seconds)	T _{sol}	260	°C

(*1) $t_w=100 \mu\text{sec}$, $T=10 \text{ msec}$. (*2) $t=5 \text{ Sec}$

■ Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter		Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Input	Forward Voltage	V_{F1}	---	1.2	1.5	V	$I_F=20\text{mA}$
		V_{F2}	---	1.4	1.85		$I_F=100\text{mA}, I_P=100\text{ }\mu\text{s}, I_P/T=0.01$
		V_{F3}	---	2.6	4.0		$I_F=1\text{A}, I_P=100\text{ }\mu\text{s}, I_P/T=0.01$
	Reverse Current	I_R	---	---	10	μA	$V_R=5\text{V}$
	Peak Wavelength	λ_P	---	940	---	nm	$I_F=20\text{mA}$
Output	View Angle	2 θ 1/2	---	60	---	Deg	$I_F=20\text{mA}$
	Dark Current	I_{CE0}	---	---	100	nA	$V_{CE}=20\text{V}, E_e=0\text{mW/cm}^2$
	C-E Saturation Voltage	$V_{CE(\text{sat})}$	---	---	0.4	V	$I_C=2\text{mA}$ $E_e=1\text{mW/cm}^2$
Transfer Characteristics	Collect Current	$I_{C(\text{ON})}$	0.5	---	10	mA	$V_{CE}=5\text{V}$ $I_F=20\text{mA}$
	Rise time	t_r	---	15	---	μsec	$V_{CE}=5\text{V}$
	Fall time	t_f	---	15	---	μsec	$I_C=1\text{mA}$ $R_L=1\text{K}\Omega$

Electrical Characteristics

(V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM293A/LM393A			LM293/LM393			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω V _{CM} = 0 to 1.5V Note 1	-	±1	±2	-	±1	±5	mV
Input Offset Current	I _{IO}	Note 1	-	±5	±50	-	±5	±50	nA
Input Bias Current	I _{BIAS}	Note 1	-	65	250	-	65	250	nA
Input Common Mode Voltage Range	V _{I(R)}	Note 1	0	-	V _{CC} -1.5	0	-	V _{CC} -1.5	V
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞, V _{CC} = 5V R _L = ∞, V _{CC} = 30V	-	0.6	1	-	0.6	1	mA
Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L ≥ 15KΩ (for large V _{O(P-P)} swing)	50	200	-	50	200	-	V/mV
Large Signal Response Time	T _{LRES}	V _I = TTL Logic Swing V _{REF} = 1.4V, V _{RL} = 5V, R _L = 5.1KΩ	-	350	-	-	350	-	nS
Response Time	T _{RES}	V _{RL} = 5V, R _L = 5.1KΩ	-	1.4	-	-	1.4	-	μS
Output Sink Current	I _{SINK}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V, V _{O(P)} ≤ 1.5V	6	18	-	6	18	-	mA
Output Saturation Voltage	V _{SAT}	V _{I(-)} ≥ 1V, V _{I(+)} = 0V I _{SINK} = 4mA Note 1	-	160	400	-	160	400	mV
Output Leakage Current	I _{O(LKG)}	V _{I(-)} = 0V, V _{I(+)} = 1V	-	0.1	-	-	0.1	-	nA
		V _{O(P)} = 30V	-	-	1.0	-	-	1.0	μA

ANEXO D –Informações do *datasheet* para o módulo RF SV651

2. Feature

- 433/470/868/915 MHz
(Customizable 240-930 MHz)
- Industrial class
- 40 channels
- 4 bytes Net ID & 2 bytes Node ID
- Series Data Rate: 1200 ~ 115200 bps
- Air Data Rate: 1200 ~ 115200 bps
- GFSK modulation
- RSSI
- Interface: TTL/RS232/RS485
- Antenna matching automatically
- Bi-directional & Half duplex
- Sensitivity: -121 dBm
- Max output power: 500 mW (+27 dBm)
- Working voltage: 3.3 ~ 6.5 V
- Working temperature: -40 ~ +85 °C
- Weight: 14.0 g
- Parameters save automatically

5. Electrical Characteristics

Note: High quality 3.3V LDO is integrated, and Pin CS / SET is 3.3V interface. TXD/RXD is also 3.3V for SV651-TTL

Parameters	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Working condition					
Voltage range	3.3	5.0	6.5	V	
Operating Temperature	-40	25	+85	°C	
Current consumption					
Rx current		25		mA	TTL level
		34		mA	485 level
		32.7		mA	232 level
Tx current		350		mA	@27dBm
Sleep current		<5		uA	@TTL level
RF parameters					
Frequency range	414.92	433.92	453.92	MHZ	@433MHZ
	470.92	470.92	509.92	MHZ	@470MHZ
	849.92	868.92	888.92	MHZ	@868MHZ
	895.92	914.92	934.92	MHZ	@915MHZ
Data rate	1.2	9.6	115.2	Kbps	GFSK
Output power	20	/	+27	dBm	
Sensitivity		-121		dBm	@1.2kbps

3) Working Mode

The CS and SET Pin is internally pulled up. Pull CS pin high or leave it open will make SV651 enter into working mode.

	Sleep mode	Working mode	Setting mode
CS	0	1*	1*
SET	X	1*	0

★ 1*: connected to 3.3V or leave open. X: don't care

ANEXO E –Informações da fonte chaveada Ericsson PKA 2323 PI.

General

Absolute Maximum Ratings

Characteristics		min	max	Unit
T _C	Case temperature ¹⁾	-45	+115	°C
T _S	Storage temperature	-55	+125	°C
V _I	Input voltage	-0.5	36	V dc
V _{ISO}	Isolation voltage (input to output test voltage)	500		V dc
	Transient input energy @ T _A = +25 °C	1.3		Ws
V _{RC}	Remote control voltage (pin 9)	0	5	V
V _{adj}	Output adjust voltage (pin 10)	0	V _O	V

1) Corresponding ambient temp. range (T_A) at full output power is -45 to +85 °C.

Connections

Pin	Designation	Function
1	RC	Remote control. To turn-on and turn-off the output. It is also used to adjust the turn-off input voltage threshold.
2	NC	Not connected.
3	-In	Negative input.
4	+In	Positive input.
5	Aux	Auxiliary.
6	NC	Not connected in singles.
	-Out 2	Negative output 2 in duals.
	-Out 3	Negative output 3 in triples.
7	NC	Not connected in singles.
	+Out 2	Positive output 2 in duals and triples.
8	-Out 1/Rtn	Negative output 1 in singles and duals. Output return in triples.
9	+Out 1	Positive output 1 in all models.
10	V _{adj}	Output voltage adjust.

Dual output

