

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

HYORAN SPESSATTO PINTO

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE
DADOS PARA VEÍCULO ELÉTRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

HYORAN SPESSATTO PINTO

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO
DE DADOS PARA VEÍCULO ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Elétrica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Jonatas Policarpo Américo

Coorientador: Prof. Me. Ósis Eduardo Silva Leal

PATO BRANCO

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Desenvolvimento de Dispositivo de Medição e Aquisição de Dados para Veículo Elétrico**”, do aluno **Hyoran Spessatto Pinto** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **130** de 2017.

Fizeram parte da banca os professores:

Jonatas Policarpo Américo

Fernando José Avancini Schenatto

Jorge Luis Roel Ortiz

A Ata de Defesa assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que é minha força e meu guia. À minha família que sempre esteve ao meu lado, Audrey, Marciano, Lara, Inez e minha namorada Bruna, que me apoiaram e, de uma forma ou de outra, me impulsionaram em busca deste objetivo. Dedico também a todos os professores, em destaque o meu orientador Jonatas Policarpo Américo, que doaram o seu tempo para me direcionar neste trabalho. Por fim, e em especial ao meu avô Adimar Spessatto (*in memoriam*) que sempre lutou e sonhou junto comigo para a realização desta etapa.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor infinito, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, sem Ele nada sou. Agradeço aos meus pais, Marciano e Audrey, à minha avó Inez e à minha tia Lara, por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que eu sempre andasse pelo caminho certo. Obrigado por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado. Sem vocês, nada sou!

À minha namorada, Bruna, por todo amor, carinho e paciência que tem me dedicado. Seu apoio foi de grande importância para a conclusão desse trabalho.

Ao meu professor, Jonatas Policarpo Américo, que dedicou seu tempo para me orientar neste trabalho.

Aos meus colegas de classe e a todos os professores que me ajudaram e compartilharam de seu conhecimento para me enriquecer como pessoa e, também, profissionalmente.

Obrigado a todos que, mesmo que não tenham sido mencionados aqui, contribuíram para a conclusão desta etapa.

EPÍGRAFE

“Para ter algo que você nunca teve é preciso fazer algo que você nunca fez!”

(XAVIER, Chico)

RESUMO

PINTO, Hyoran Spessatto. Desenvolvimento de Dispositivo de Medição e Aquisição de Dados para Veículo Elétrico. 2017. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Este trabalho apresenta uma abordagem entre as técnicas aplicáveis na medição das grandezas tensão, corrente e temperatura, que foram incluídas no sistema de aquisição de dados microcontrolado proposto, o qual, por sua vez, tem a finalidade de, a partir de sua aquisição de dados, contribuir para a eficiência energética de veículos elétricos. No presente trabalho foi discutida a maneira como será feito o sensoriamento de cada grandeza, com o propósito de atingir os objetivos do projeto, considerando que sua aplicação é voltada ao veículo elétrico desenvolvido na UTFPR – Pato Branco, apresentando, assim, algumas limitações ao sistema. A fim de se obter melhor compreensão, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software PSIM®. Foi realizada a implementação dos circuitos de condicionamento de sinais, gerenciamento de sensores e hardware, e, com os circuitos concluídos, pôde-se, então, produzir as placas de circuito impresso. Após isso, desenvolveu-se experimentos práticos, de modo a compará-los com as simulações, bem como ao instrumento de medição de referência, a fim de se realizar uma análise estatística do erro. Conclui-se, portanto, com este trabalho direcionado a aquisição de dados referente ao veículo elétrico, que o sistema desenvolvido correspondeu ao exigido, apresentando, no pior caso, aproximadamente 82% dos dados da medição com erros, de no máximo, 2,5%, e, no melhor caso, 99,7% dentro deste desvio, em medições que perduraram por quase duas horas.

Palavras-chave: Aquisição de dados. Medição. Sistemas embarcados. Veículo elétrico.

ABSTRACT

PINTO, Hyoran Spessatto. Device Development of Measurement and Data Acquisition for Electric Vehicle. 2017. 78 f. Work Completion of course (Graduation in Electrical Engineering). - Federal Technological University of Parana. Pato Branco, 2017.

This paper presents an approach between the techniques applied in the mediation of grandeur power, voltage and temperature, which were included in the data acquisition system member micro controlled proposed, which, in your time, is to, from your data acquisition, contribute to energy efficiency of electric vehicles. In this work was discussed the way it will be make the each sensing greatness, with the purpose of achieving the objectives of the project whereas your application is dedicated to electric vehicle developed in UTFPR - Pato Branco, showing some limitations to the system. In order to achieve better understanding, computational simulations were carried out using the software PSIM®. It was held an implementation of signal conditioning circuits, sensors and hardware, and, with completed circuits, it can produce printed circuit boards. After this, developed the practical experiments, in order to compare them with the simulations, as well as mediation reference instrument, in order to perform a statistical analysis of the error. We conclude, therefore, with this work directed data acquisition for the electric vehicle, at the worst case, approximately 82% of the data of mediation with maximum 2.5% errors, and, in the best case, 99.7% within this deviation, in mediations that endure for nearly two hours.

Keywords: Data acquisition. Measurement. Embedded systems. Electric vehicle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aplicação X-by-Wire para direção elétrica.....	23
Figura 2 – Conversão de sinal analógico em digital.....	25
Figura 3 – Primeiro microprocessador, 4004.....	26
Figura 4 – Circuito divisor resistivo.....	28
Figura 5 – Diagrama de blocos do funcionamento do sistema.....	33
Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema embarcado.....	34
Figura 7 – Programa de Telemetria desenvolvido na UTFPR - Pato Branco.....	36
Figura 8 – Microcontrolador MSP430G.....	37
Figura 9 – Ligação feita para obtenção da tensão	40
Figura 10 – Circuito Amplificador de instrumentação de ganho ajustável.....	42
Figura 11 – Circuito referente a medição de tensão.....	43
Figura 12 – Exemplo de sensor de efeito Hall ACS712.....	45
Figura 13 – Ligação feita para obtenção da corrente.....	46
Figura 14 – Circuito referente a medição de corrente.....	47
Figura 15 – Exemplo de RTD (PT100)	48
Figura 16 – Valores padronizados do sensor PT100	49
Figura 17 – Ponte de Wheatstone.....	50
Figura 18 – Circuito referente à medição de temperatura.....	52
Figura 19 – Sistema proposto em funcionamento.....	54
Figura 20 – Interface do programa que armazena os dados de medição do multímetro.....	55
Figura 21 – Placa para medição de tensão, projetada no <i>software</i> Eagle®.....	57
Figura 22 – PCI para medição de tensão.....	57
Figura 23 - Sinal de tensão obtido pelo sistema.....	58
Figura 24 – Placa para medição de corrente, projetada no <i>software</i> Eagle®.....	60
Figura 25 – PCI para medição de corrente.....	60
Figura 26 - Sinal de corrente obtido pelo sistema.....	61
Figura 27 – Placa para medição de temperatura, projetada no <i>software</i> Eagle®	63
Figura 28 – PCI para medição de tensão.....	63
Figura 29 - Sinal de temperatura obtido pelo sistema.....	63
Figura 30 - Sinal de corrente, temperatura e tensão obtido pelo sistema embarcado..	64

Figura 31 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de tensão.....	67
Figura 32 – Histograma de dispersão dos dados de medição de tensão.....	67
Figura 33 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de corrente.....	68
Figura 34 – Histograma de dispersão dos dados de medição de corrente.....	68
Figura 35 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de temperatura.....	69
Figura 36 – Histograma de dispersão dos dados de medição de temperatura.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos cálculos estatísticos de dispersão da medição.....	62
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor analógico para digital (<i>Analog-to-Digital-Converter</i>)
A/D	Analógico / Digital
A_v	Ganho do amplificador de instrumentação
BMS	Sistema de Gerenciamento de Energia (<i>Battery Management System</i>)
CAN	Rede de Área de Controladoria (<i>Controller Area Network</i>)
CPU	Unidade Central de Processamento (<i>Central Processing Unit</i>)
DIN	Instituto Alemão de Normatização (<i>Deutsche Institut für Normung</i>)
ECU	Unidade Eletrônica de Controle (<i>Electronic Control Unit</i>)
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
MCI	Motor à Combustão Interna
PCI	Placa de Circuito Impresso
RTD	Sensor de temperatura de resistência (<i>Resistance temperature Detector</i>)
R	Resistência elétrica
USB	Barramento Serial Universal (<i>Universal Serial Bus</i>)
V	Diferença de potencial (Tensão)
VEB	Veículo Elétrico à Bateria
VECC	Veículo Elétrico de Célula a Combustível
VEH	Veículo Elétrico Híbrido
VEHP	Veículo Elétrico Híbrido <i>Plug-inD</i>
VES	Veículo Elétrico Solar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMÁTICA E MOTIVAÇÃO	15
1.2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	VEÍCULO ELÉTRICO	18
2.1.1	HISTÓRIA DO VEÍCULO ELÉTRICO	18
2.1.2	CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	20
2.1.3	SISTEMAS EMBARCADOS DE MEDIÇÃO	21
2.2	SISTEMAS DIGITAIS DE MEDIÇÃO	24
2.3	MICROCONTROLADOR	26
2.4	MEDIÇÃO DE TENSÃO	27
2.5	MEDIÇÃO DE CORRENTE	29
2.6	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ELÉTRICO	33
3.2	SISTEMA PROPOSTO PARA MONITORAMENTO	34
3.3	CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO	37
3.3.1	AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO	41
3.4	CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE	43
3.5	CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	47
3.5.1	GANHO DO AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO	51
4	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	53
4.1	MEDIÇÃO DE TENSÃO	56
4.1.1	PROJETO DA PLACA DE TENSÃO	56
4.1.2	PLACA DESENVOLVIDA PARA MEDIÇÃO DE TENSÃO	57
4.1.3	MEDIÇÃO DO SISTEMA DE TENSÃO	57
4.2	MEDIÇÃO DE CORRENTE	58
4.2.1	PROJETO DA PLACA DE CORRENTE	59
4.2.2	PLACA DESENVOLVIDA PARA MEDIÇÃO DE CORRENTE	59
4.2.3	MEDIÇÃO DO SISTEMA DE CORRENTE	60
4.3	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	61
4.3.1	PROJETO DA PLACA DE TEMPERATURA	62
4.3.2	PLACA DESENVOLVIDA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	62
4.3.3	MEDIÇÃO DO SISTEMA DE TEMPERATURA	63
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS	65
5.1	ERRO NAS MEDIÇÕES	65
5.2	DESVIO ABSOLUTO E PERCENTUAL	66
5.3	AMPLITUDE, DESVIO MÉDIO, DESVIO PADRÃO E VARIÂNCIA	70

6	CONCLUSÃO.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial intensifica-se o uso dos automóveis como meio de transporte, pelo fato da redução dos preços com a criação da linha de montagem por Henry Ford. Nas últimas décadas, a facilidade que se estabeleceu para a obtenção de automóveis, fez com que o número da frota tivesse um crescimento elevado, acarretando assim o congestionamento das vias e também a elevação nos níveis de poluição (BUENO; PEIXOTO, 2012).

Segundo relatório realizado nas cidades da América Latina e Caribe, a principal fonte de poluição no mundo são os veículos movidos a óleo diesel e a gasolina, quando se leva em consideração as metrópoles. Essa fonte de contaminação é tão significativa, que sua classificação está situada acima de indústrias e de centrais termelétricas (HABITAT, 2012).

Devido à numerosa quantidade de veículos em circulação, acarretaram-se problemas tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente. Dentre esses, pode-se citar: a degradação contínua do ar, o aumento da temperatura média global, assim como a rápida taxa de queda na limitação dos recursos petrolíferos a cada ano. Esses são alguns dos motivos que despertaram interesse na busca de uma solução para tal problema (DIAS, 2013).

Segundo Fontaínhas (2013), o desenvolvimento de veículos equipados com motores mais eficientes tem sido uma preocupação constante, sendo observada uma redução dos índices de consumo. Dentre as várias soluções propostas e discutidas no cenário mundial, dá-se destaque aos veículos híbridos e elétricos. Os veículos híbridos consistem de uma combinação de motor a combustão, bateria e motor elétrico (DIAS, 2013). Já os veículos elétricos, são providos de um motor elétrico que pode ser alimentado por baterias, provendo independência do sistema de energia, ou diretamente conectado à rede, necessitando assim, de estruturas especiais de conexão, para possibilitar sua locomoção como, por exemplo, os metrô (FONTAÍNHAS, 2013).

Nesse contexto, surgem as Unidades Eletrônicas de Controle (UEC ou, do inglês *ECU – Eletronic Control Unit*) que, incorporadas aos automóveis, assumem funções de grande importância, como o monitoramento das principais grandezas, integração dos sensores, por meio de canais de comunicação, via barramentos e

ajuste no controle do sistema motor do veículo. Tais unidades de controle são definidas como sistema embarcado¹ (NETO, 2009). Mostra-se válida esta aplicação, pelo fato de que as ECUs incorporadas a sistemas motores, oferecem ganhos significativos em segurança, na velocidade de resposta, e na eficiência ao conjunto, quando comparados com máquinas exclusivamente mecânicas (NETO, 2009).

Os sistemas embarcados automotivos são frequentemente utilizados no setor automobilístico de competição, sendo constatada nas equipes de Fórmula 1, Stock Car e Fórmula Truck, para a aquisição de dados através da instrumentação eletrônica. A partir desta, as informações que podem influenciar no desempenho do automóvel são exibidas tanto para a equipe, quanto ao piloto. Para o piloto, essas informações facilitam o comando do carro. Já para a equipe, torna-se possível uma nova análise do projeto e desempenho do veículo (DIAS, 2010).

1.1 PROBLEMÁTICA E MOTIVAÇÃO

Os sistemas embarcados, direcionados a área de aplicação automotiva, estão, atualmente, disponíveis no mercado, mas são limitados, ou seja, feitos apenas para a aplicação desejada pelo cliente, com pouca versatilidade. Esta ferramenta, têm como agravante um valor muito elevado para ser adquirido por uma pequena empresa, ou então, uma equipe de competição automobilística. Logo, apenas as montadoras de carros ou equipes de competições de alto nível, adquirem esse mecanismo para ajudar no desenvolvimento e melhoria de seu produto final.

Como mencionado por Magalhães (2012), para o veículo elétrico, as principais grandezas a serem monitoradas são: corrente, tensão e temperatura. Essas são de suma importância no seu funcionamento, bem como para a gestão das baterias. A partir destas grandezas, é possível identificar o correto funcionamento do motor elétrico, como também seu consumo nos diferentes trechos da pista, possibilitando a equipe traçar estratégias, em busca da redução de consumo e minimizar as fadigas do motor elétrico.

¹ Define-se sistema embarcado como um módulo que é projetado para realizar funções, onde o usuário final pode modificar algumas configurações, mas não pode alterar a sua finalidade. Estes sistemas devem ser confiáveis, pelo fato de que fazem interação com dados de sensores e possíveis modificações no ambiente em que está instalado (MARWEDEL, P. 2006).

Nesse âmbito, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, desenvolve veículos para competição de eficiência energética, com o objetivo da redução de consumo de veículos movidos a etanol, gasolina e energia elétrica. Para esse propósito, os sistemas embarcados disponíveis no mercado, são de valor elevado, inviabilizando a aquisição. Mediante isso, surge a necessidade do desenvolvimento, por estas equipes, de seus próprios sistemas embarcados.

É importante destacar que o presente trabalho enquadra-se no contexto do projeto de pesquisa denominado Sistema de Telemetria para Veículo Elétrico de Competição, registrado na DIREC, com número 07.02.02/2013, que possui como finalidade a criação de um sistema de telemetria, para uso no protótipo de veículo elétrico, desenvolvido pela UTFPR – Pato Branco, o qual também pode ser utilizado em outros protótipos de carros movidos a eletricidade.

1.2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

Desenvolver um sistema de medição e aquisição de dados para o veículo elétrico da UTFPR – Pato Branco, capaz de monitorar as variáveis correntes da alimentação ao sistema motriz, tensão nos terminais da bateria e temperatura do motor, importantes ao veículo elétrico.

Como objetivos específicos propõem-se:

- Analisar as características técnicas do veículo elétrico como arquitetura e especificações elétricas.
- Definir metodologia de medição de tensão, corrente e temperatura e selecionar sensores adequados.
- Desenvolver o *hardware*, circuito elétrico para gerenciamento dos sensores e projetar as placas de aquisição, prevendo circuitos de condicionamento do sinal;
- Implementar o código em linguagem C, para uso no microcontrolador, responsável pela comunicação dos dados dos sensores ao computador;
- Efetuar testes no protótipo e comparar o sistema aos valores medidos com equipamento de referência, sendo este uma placa de aquisição de dados da *National Instruments*, modelo USB-6009;

- Realizar a análise estatística em relação aos erros dos resultados obtidos na medição.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido por etapas e objetivou contemplar todos os objetivos anteriormente definidos. Desta forma, a elaboração desse, acompanha a seguinte disposição:

No capítulo 2, está contida uma breve história dos veículos elétricos, bem como a classificação dos mesmos e sistemas embarcados utilizados. Apresenta também a evolução do sistema de medição, para que se possa transformar as variáveis analógicas em valores digitais. Também, neste capítulo, mostram-se opções para medição de grandezas, como corrente, tensão e temperatura. Por fim, aborda-se o microcontrolador, o qual será responsável pela leitura e interpretação dos dados medidos.

O capítulo 3 apresenta, pelas limitações e finalidades, a definição dos sensores usados para a medição de corrente, temperatura e tensão. Através disso, foi desenvolvido cada sistema de medição para a respectiva grandeza a ser medida e, também, a abordagem do sistema embarcado como um todo.

No capítulo 4, é exibido o desenvolvimento para a implementação das placas, bem como os resultados encontrados através de simulações, da medição experimental e análise dos dados obtidos na prática.

O capítulo 5 contém a análise estatística dos resultados encontrados, de forma quantitativa, através de cálculos baseados nas medições do sistema desenvolvido.

O capítulo 6 é designado às conclusões obtidas a partir dos resultados encontrados com esse trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda, de forma breve uma visão geral sobre os veículos elétricos, a revisão bibliográfica para fundamentar os desenvolvimentos realizados e os resultados obtidos durante a elaboração desse trabalho. Inicialmente, estão presentes a evolução e classificação dos veículos elétricos, bem como uma breve análise sobre sistemas embarcados de medição. Logo após, aborda-se os sistemas digitais de medição, de um modo geral, sua evolução teórica e seus modos de serem executados (analógicos e digitais). Em seguida, são contemplados os sistemas de medição de tensão, corrente e temperatura, respectivamente. Cada um desses sistemas apresenta uma breve introdução de cada grandeza. Por fim, é apresentado o microcontrolador, sendo este o responsável pelo processamento digital das informações coletadas.

2.1 VEÍCULO ELÉTRICO

O grande e rápido crescimento da indústria, não apenas de automóveis, como indústrias de bens, extração, serviços, entre outros, não pode ser complementado com uma política que colocasse em foco a preservação do meio ambiente e sustentabilidade. Como solução focada nisto têm-se os Veículos Elétricos (VE), que são muito visados atualmente, mas que existem há muitas décadas.

2.1.1 HISTÓRIA DO VEÍCULO ELÉTRICO

Vista atualmente como uma das melhores alternativas aos veículos de motores a combustão, o veículo elétrico, apresenta a partir dos anos 70 uma retomada em sua produção. Contudo, os veículos automotores que tem como propulsão um motor elétrico, foram desenvolvidos cronologicamente antes dos veículos a combustão. Mesmo com datas e locais confusos em relação a autoria dos primeiros

desenvolvimentos, o que se pode afirmar é que se destacaram no início do século XIX (RODRIGUES, 2014) (MELO, 2014).

Mesmo com a existência de maneiras de locomoção que utilizavam eletricidade como fonte de energia, o veículo com motor a explosão se estabeleceu como uma melhor opção na época por não haver preocupação quanto aos níveis de poluição prejudiciais ao ser humano e ao meio ambiente e também por sua autonomia ser maior, visto que a tecnologia das baterias era pouco desenvolvida possuindo baixa eficiência e densidade de carga (SILVA, 2014).

Além disso, menores custos de aquisição e operacional, relacionados a descoberta de novos campos de petróleo, invenção da partida elétrica ao invés da partida a manivela e a implantação da linha de montagem construída por Henry Ford para a fabricação em larga escala dos veículos a combustão, foram fatores que colaboraram consideravelmente para a disseminação dos automóveis a gasolina. Já os carros elétricos interromperam sua trajetória de crescimento e desenvolvimento, além das desvantagens perante os veículos a combustão, pela lenta ampliação dos sistemas de geração e transmissão, tornando precário o suporte para recarga das baterias (RODRIGUES, 2014).

Segundo afirma EHSANI; GAO & EMADI (2010) devido as suas limitações e desvantagens, durante meio século os VE's passam a atender, em sua maioria, apenas aplicações específicas como empilhadeiras e carrinhos de golf.

Para em 1973, devido ao fato da crise de petróleo causada por muitos conflitos, envolvendo principalmente Irã e Iraque que sempre foram grandes fontes do produto, e também pelo embargo de produtores, voltam a serem enfatizados como uma alternativa por utilizar fontes renováveis de energia (FREITAS, 2015).

Um marco na busca de uma saída para a crise, foi o ano de 1976, quando o governo norte-americano lança um programa com o intuito de incentivar o desenvolvimento de veículos híbridos e elétricos e também estudos buscando uma melhor autonomia das baterias (IMBASCIATI, 2012) (FREITAS, 2015) (RODRIGUES, 2014). Montadoras do continente europeu e japonesas enxergam uma oportunidade de mercado, focando então suas pesquisas de desenvolvimento nos veículos elétricos e híbridos, para que em 1997 Honda e Toyota apresentassem respectivamente, Civic Hybrid e Prius, o modelo da Toyota se destaca por mais de uma década como o mais vendido no mundo (LUCENA, 2011) (BARASSA, 2015).

2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Segundo a Associação Brasileira de Veículo Elétrico (ABVE) e a SAE (*Society of Automotive Engineering*) um veículo pode ser denominado elétrico quando a propulsão de ao menos uma de suas rodas é acionada por um motor elétrico. Esses automóveis são classificados conforme sua fonte de energia elétrica disponibilizada ao motor, adotando-se cinco classificações: Veículo Elétrico a Bateria (VEB), Veículo Elétrico Híbrido (VEH), Veículo Elétrico de Célula a Combustível (VECC), Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in* (VEHP) e Veículo Elétrico Solar (VES) (INEE, 2017).

O Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) estabelece que Veículo Elétrico Solar são automóveis que tem sua energia elétrica fornecida ao motor, ou a recarga das baterias, por meio de placas fotovoltaicas. Como o rendimento de conversão de energia solar em energia elétrica é baixo, torna-se uma opção incerta pelo fato de ter uma pequena dimensão para ocupar de placas, com isso sua geração é pequena, podendo ser destinada apenas como uma fonte auxiliar de alimentação (GADDY, 2003)

Com uma taxa próxima a zero de emissão de poluentes está o Veículo Elétrico de Célula a Combustível, que utilizam a conversão de hidrogênio em energia para sua propulsão e armazenamento em baterias. Sua emissão é quase nula devido ao fato que a reação química desta transformação tem como resultado água e calor. É objeto de pesquisas e se destaca como uma das melhores alternativas, o que dificulta é a infraestrutura e o fornecimento de hidrogênio, valor das células a combustíveis e o custo final do veículo (BARASSA, 2015) (SILVA, 2014) (SANTOS, 2013).

Os Veículos Elétricos a Bateria são os mais populares e tem seu funcionamento baseado exclusivamente em um sistema de armazenamento formado por baterias que fornecem energia para a rotação do eixo do motor elétrico. Além do custo para a fabricação do carro, outro agravante é pelo fato de necessitar de eletropostos distribuídos para fazer o reabastecimento das baterias conectando-as a rede elétrica de distribuição (SILVA, 2014) (BARASSA, 2015) (NETO, 2013)

A combinação de motor elétrico, com outra fonte de energética complementar, geralmente um Motor a Combustão Interna (MCI), denomina-se uma classificação distinta, que são os Veículos Elétricos Híbridos. O MCI utilizado pode ser

utilizado tanto na propulsão do veículo, como também atuando como gerador de energia elétrica, nesse caso as baterias atendem os picos de demanda do motor elétrico e podem ser recarregadas quando conectadas a rede ou através do gerador (RODRIGUES, 2014) (SANTOS, 2013) (BARASSA, 2015) (NETO, 2013). Há também veículos que tem sua alimentação fornecida pela rede de energia elétrica, estes recebem o nome de Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*, VE ligado à rede ou então Trólebus, e o que o diferencia do VEH é que suas baterias devem ter maior capacidade, pois não contam com MCI para auxiliar no reabastecimento. É o modelo mais encontrado no Brasil, mas enfrenta limitações na sua expansão principalmente pelo alto custo da implementação da rede (INEE, 2017) (RODRIGUES, 2014) (FREITAS, 2015).

Os fabricantes desses automóveis utilizam-se de variadas arquiteturas buscando garantir os melhores resultados quanto a eficiência, desempenho, autonomia, dentre outros, pois não há nenhum padrão que se sobrepõe aos conceitos práticos. Os princípios e arranjos a serem definidos na arquitetura automotiva que será utilizada para a montagem de um novo veículo, emprega como base a forma de classificação que se enquadra (RODRIGUES, 2014).

Para garantir um melhor desempenho, rendimento, conforto, sistemas eletrônicos embarcados passaram a serem aplicados constantemente as arquiteturas elétricas dos veículos (ANJOS, 2011).

2.1.3 SISTEMAS EMBARCADOS DE MEDIÇÃO

Os sistemas eletrônicos embarcados são utilizados para aplicabilidades específicas tendo uma resposta instantânea. Pelo fato de controlarem diversas funções, torna-se necessária a utilização de microcontroladores para coordenar o sistema. Essas unidades, também chamadas de ECUs (*Electronic Control Units*), são utilizadas frequentemente na indústria automobilística em veículos elétricos e híbridos, como também em freios anti-bloqueio (ABS) e controle de tração.

Pelo fato de nos anos 80 as leis em relação as emissões passarem a ser mais severas, inicia-se a utilização das ECUs que são módulos de processamento de sinais em tempo real, geralmente providos de microprocessadores, que realizam o

processamento de sinais analógicos oriundos de sensores. Através da medição das grandezas realizada, muitas alterações e aplicações podem ser feitas em automóveis (POGGETTO, 2009) (ANJOS, 2011). A integração da engenharia elétrica com a automobilística é considerada primordial quando deseja-se um custo acessível aliado a um bom rendimento (NETO, 2013).

Os sistemas embarcados quando adicionados a sistemas mecânicos mostram um desempenho superior, apresentando ganhos de conforto, segurança, menor consumo e impacto ao meio ambiente, não limitando-se apenas ao controle do motor. As evoluções são tão evidentes que 80% das inovações derivam da área eletrônica e representam aproximadamente 20% do custo dos automóveis (POGGETTO, 2009).

Nos veículos elétricos esses sistemas são ainda mais utilizados na arquitetura veicular elétrica, a fim de fazer o gerenciamento do consumo elétrico para reduzir o descarregamento das suas baterias, aumentando assim o seu rendimento, eficiência e autonomia. O principal foco para o controle deste consumo é a medição da corrente consumida pelo automóvel e manter a tensão constante (IMBASCIATI, 2012).

O sistema de gestão das baterias (ou BMS, do inglês *Battery Management System*) faz o controle de diversas aplicações adicionadas aos veículos elétricos, dentre elas pode-se destacar em relação a este trabalho a telemática e sistemas *X-by-Wire*. A telemática é um sistema de transferência de informações de dados do veículo para uma base externa, a fim de diagnosticar problemas e fazer ajustes. Já o *X-by-Wire* é qualquer sistema acionado eletricamente por cabos, substituindo acionamento mecânicos, hidráulicos ou então pneumáticos, oferecendo um diagnóstico fácil em caso de problema, como também aumentando a precisão e confiabilidade. Sistemas como este são vistos atualmente como em ajustes de suspensão, injeção eletrônica e direção elétrica como apresentado na Figura 1 (POGGETTO, 2009):

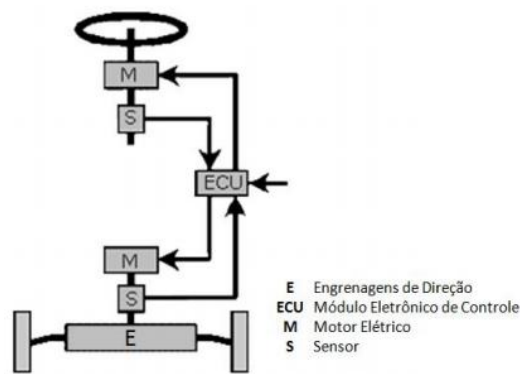


Figura 1 – Aplicação X-by-Wire para direção elétrica
Fonte: POGGETTO (2009)

Para que as ECUs recebam informações condizentes e importantes ao sistema analisado, sensores e transdutores realizam medições que serão compartilhadas por meio de redes de comunicação, processadas e armazenadas pelo sistema microcontrolador.

Em ambientes veiculares, a transmissão e recepção de informações é feita por diferentes padrões de redes de comunicação (FLORIDO, 2008). Um modelo utilizado em larga escala na indústria automotiva é a rede CAN (*Controller Area Network*). Desenvolvida inicialmente pela Bosch®, é provida de diversos módulos em estrutura linear, conectados a um barramento e constituída basicamente de dois fios trançados, com o objetivo de redução de interferências magnéticas. Esse par de fios será responsável por transmitir a diferença de potencial entre eles, o que torna a comunicação segura (PAPAIOANNOU, 2005) (SILVA, 2009).

Outra opção de rede é a Byteflight, que tem o princípio de funcionamento semelhante à CAN, diferenciando-a pela utilização de fibra óptica para comunicação. Por este motivo apresenta maior largura de banda, comunicação bidirecional por apenas um cabo e maior velocidade de resposta, tornando mais vantajosa sua utilização em sistemas de segurança como air-bag e pré-tensores de cinto de segurança, pelo curto tempo de ação (MENDES; SANTOS, 2007) (PAPAIOANNOU, 2005) (SILVA, 2009).

Neste trabalho, seguindo a importância citada nos capítulos anteriores por Imbasciati (2012) e Magalhães (2012), será realizada a medição das grandezas tensão, corrente e temperatura.

2.2 SISTEMAS DIGITAIS DE MEDIÇÃO

Sistemas de medição são utilizados para mensurar grandezas de diversas naturezas. Constituem o conjunto de elementos do sistema: sensores, parâmetros, técnicas, *software*, ambiente e características definidas para realizar a medição (IQA, 2004).

A medição acompanha as atividades humanas desde os primórdios dos tempos, inicialmente com a contagem. Posteriormente, com o início das civilizações, surgiram novas medidas baseadas no corpo humano, como a polegada e o pé. Com o passar dos séculos, surgiram outras unidades, como o sistema métrico e a unidade de tempo, definidos em metro e segundo, respectivamente, no final do século XVIII. Já no fim do século XIX, as medições começam a ter impactos nas grandezas elétricas, através da instrumentação analógica. Com a constante evolução da era digital, surgem instrumentos digitais e sistemas de instrumentação (CAMPILHO, 2000).

A instrumentação analógica utiliza-se geralmente de circuitos elétricos, para facilitar a transmissão da variável aferida até onde será feita a sua leitura, o que possibilita, desta maneira, uma distância considerável entre ponto de medição e ponto de leitura. Sendo assim, o valor medido nesta leitura é convertido nas grandezas elétricas, tais como, corrente, tensão e resistência (CAMPILHO, 2000).

Na instrumentação digital, utilizam-se componentes diferentes para que se faça a aferição de uma grandeza, e esta seja convertida em um sinal digital necessário para a comunicação com computadores, ou então microcontroladores. Esse sinal é formado por um conversor analógico-digital, no qual a comunicação serial fornece uma sequência de *bits* que assumem valor binário 0 ou 1. O conjunto de *bits* com todos os valores binários igual a 1, faz com que o sinal obtido seja de sua máxima amplitude, assim como quando a conversão apresentar todos os bits de valor 0, gera um sinal com amplitude mínima (VIANA, 1999).

Comparado aos sistemas analógicos, a medição digital traz várias vantagens, uma delas é a ausência do ponteiro, reduzindo o erro de leitura de quem utiliza e atinge uma resolução maior. Além do aumento na exatidão, outro benefício é que seus dados de medição podem ser armazenados e utilizados em computadores, embora seu custo seja maior, quando comparado ao sistema analógico. Faz-se

necessário destacar que ambas as instrumentações são importantes, afinal, os sinais são de natureza analógicos, quando coletados, exigindo convertê-los para serem utilizados na forma digital (CAMPILHO, 2000).

Sistemas digitais mostram-se de grande importância para a realização de medições, pelo fato de processar, transmitir, exibir e armazenar dados. Pode-se explicar o seguinte: o valor de uma grandeza analógica, oriundo de um circuito eletrônico, neste caso é considerado como sendo um sinal de saída de um transdutor. Esse sinal de saída pode ser um valor equivalente e proporcional a uma corrente, temperatura ou tensão. Logo, essa grandeza analógica será convertida para uma forma digital através de um conversor Analógico-Digital (A/D) e o seu valor lido e analisado computacionalmente.

Considerando um sistema de medição digital, sua grandeza de entrada é medida através de um sensor adequado, o sinal do sensor é condicionado por um circuito, interpretado pelo conversor, armazenado e exibido de forma computacional, podendo esta leitura ser usada para um sinal de controle do sistema. Na Figura 2 é exemplificado o diagrama de blocos que representa a aquisição do sinal analógico e transformação do mesmo em um sinal digital, onde cada amostra do sinal analógico é convertida em uma palavra binária, que é formada por um conjunto de níveis discretos.

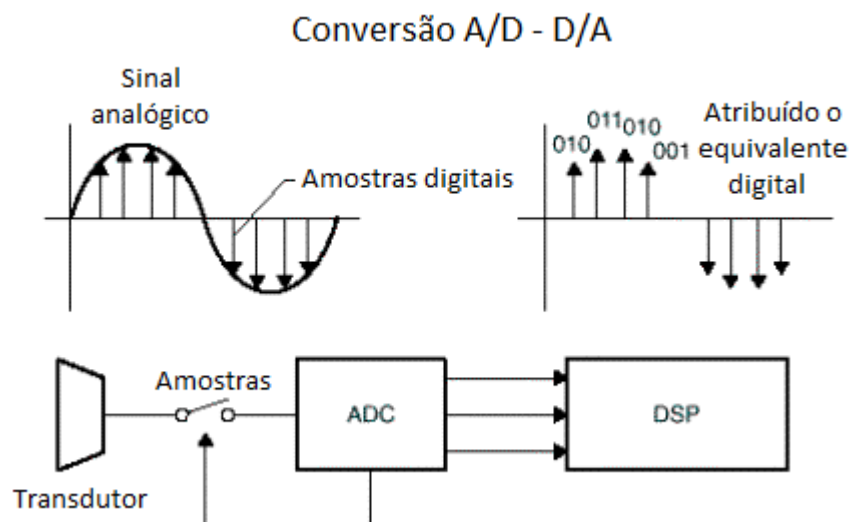


Figura 2 - Conversão do sinal lógico em digital
Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2004)

Como citado nos capítulos anteriores é necessário o uso de um microcontrolador para coordenar todo o processamento digital, incluindo sua conversão A/D, das medições que se deseja fazer sobre as grandezas elétricas.

2.3 MICROCONTROLADOR

Para se realizar medições, e para que as grandezas possam ser processadas para os devidos fins, se torna necessário o uso de um computador. Por esse fato, e com a evolução da tecnologia, torna-se possível a utilização de alternativas como os microprocessadores e microcontroladores.

No início da década de 70, após lançar algumas memórias em formato de chip, a Intel lança seu primeiro microprocessador de 4 bits, nomeado 4004, visto na Figura 3. Devido a necessidade de anexar periféricos a ele, alguns anos depois, porém na mesma década, a Intel lança seu primeiro microcontrolador, que nada mais é do que a junção do microprocessador e periféricos importantes em um chip (INTEL, 2003).

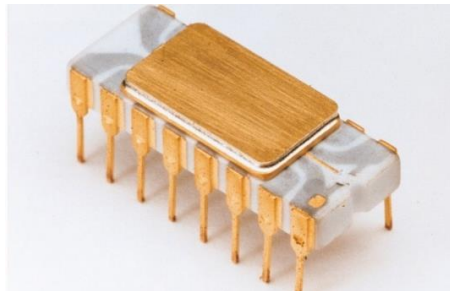


Figura 3 - Primeiro microprocessador, 4004
Fonte: Intel Corporation (2003)

Com o passar dos anos, e a constante evolução tecnológica, ficou claro que para aplicações específicas, o microcontrolador era a melhor opção para sistemas que demandam processamento, pelo seu tamanho reduzido e pelo baixo custo (MARTINS, 2005).

Esse chip, além de conter seu processador, possui memória e pinos de entrada e saída. Por meio de uma programação é possível receber informações de suas entradas, controlar saídas, converter grandezas e gravar dados. O que distingue os vários modelos de microcontroladores são: o tamanho de sua memória, velocidade

de processamento, quantidade de portas, e também seus diversos periféricos (MARTINS, 2005).

Através de suas portas recebe os dados analógicos correspondentes as grandezas, por meio do conversor A/D torna possível o processamento dos sinais e transforma-os em sinais digitais, que são enviados pelo microcontrolador ao computador.

2.4 MEDIÇÃO DE TENSÃO

Para que um elemento de circuito elétrico seja fonte de energia à uma carga, isto é, alimente o circuito e por ele circulem partículas carregadas, é necessário que exista uma diferença de potencial entre seus terminais. Essa diferença de potencial, que faz com que cargas elétricas se movimentem de um ponto a outro, é conhecida também por tensão elétrica e sua unidade é o Volt [V] (HAYT JR *et al*, 2008).

A fim de realizar a medição da diferença de potencial, é necessário conectar os terminais do instrumento de análise em paralelo com o componente, parte, ou então, saída de um circuito onde se deseja realizar a medição. Para realizar esta ação, um instrumento comumente utilizado é o voltímetro.

Em vários casos não se pode utilizar o voltímetro para indicar visualmente o valor medido, como em situações de desenvolvimento de um sistema de medição, principalmente pela finalidade da aplicação, que realiza aquisição e armazenamento de dados digitais, como também pelo aumento de custo agregado pelo equipamento. Em outros casos, como na utilização de microcontroladores para leitura da diferença de potencial, faz-se necessário o uso da grandeza em menor escala, a qual depende do limite suportado pelo componente e suas entradas para o conversor A/D.

Uma outra solução é a utilização de transformadores específicos, denominados transformadores de potencial que atuam pela relação de dois enrolamentos, reduzindo ou aumentando a tensão de entrada através da razão estabelecida. Seu sinal de saída pode ser utilizado para controle e com isso realiza a proteção de sistemas de potência (MACHADO, 2009).

Da mesma forma, pela necessidade de redução na escala da tensão, pode ser adotado como solução um circuito resistivo, chamado de divisor de tensão. Na Figura 4 pode-se visualizar que V_2 , tensão aplicada no resistor R_2 , será um valor correspondente a uma relação matemática entre os valores de resistência e da diferença de potencial da fonte de alimentação (V_{fonte}).

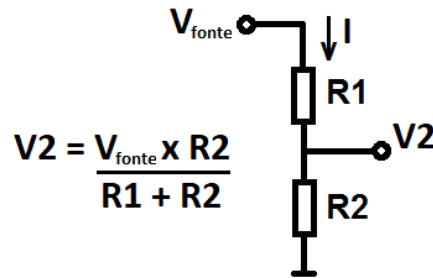


Figura 4 – Circuito divisor resistivo
Fonte: Autoria própria

Além dessas alternativas, existe outro meio de realizar esta medição, de modo a atender o propósito deste trabalho, que é o sensor de efeito *Hall*. Esta opção é baseada no efeito *Hall*, descoberto por Edwin Hall, em 1889, com ele a corrente que circula no condutor elétrico faz com que exista um campo magnético perpendicular ao material condutor, e isso gera uma diferença de potencial, chamada de tensão de *Hall*. Essa tensão é o sinal de saída do sensor, que é proporcionalmente linear à tensão de entrada (RAMSDEN, 2011).

Utilizando do princípio de efeito *Hall*, a fabricante LEM dispõe o transdutor de tensão LV 25-P, circuito integrado voltado a aplicação de medição de tensão. A unidade permite que seja medida a diferença de potencial através da corrente de saída do sensor que deve ser ligado a um resistor em série, verificando neste a sua queda de tensão. Apresenta excelente precisão, boa linearidade, imune a interferências externas, e suas aplicações relatadas são para indústrias, como também em gerenciamento de energia (LEM, 2014). Atendendo também esse modo de funcionamento, segundo Melexis (2006) o sensor US1881 foi projetado em tecnologia CMOS, com a vantagem de um baixo consumo de corrente, é um transdutor de alta sensibilidade e que auxilia em variadas aplicações, incluindo a área automotiva.

2.5 MEDIÇÃO DE CORRENTE

Quando aplicada uma diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico, há deslocamento de cargas em um determinado sentido, este deslocamento é denominado de corrente elétrica. Esta grandeza, quantifica o fluxo de deslocamento de cargas de um ponto a outro, que tem sua unidade expressa em ampère [A]. Este fluxo resultante é de grande importância em um circuito, pois desta maneira é possível quantificar o consumo de energia de diversas cargas distribuídas pelo sistema (HAYT JR et al, 2008).

Para a medição da corrente, dependendo se o instrumento a ser utilizado for invasivo, o circuito deve ser desconectado e ligado em série a um equipamento, nesse caso, podendo ser um amperímetro, esse irá medir a quantidade de cargas que passam pelo ponto por segundo. Como esta grandeza tem por definição a necessidade de medir o movimento das cargas, o instrumento de medição deve estar em série com o circuito.

Existe também o amperímetro em alicate, que evita a necessidade de abertura do circuito para inserção do instrumento, por ser uma forma não-invasiva, com a finalidade de medição da corrente. O equipamento é colocado em torno do fio onde se pretende realizar a medição, geralmente esse dispõe de um transformador de corrente interno (MINIPA, 2012).

Como opção para se encontrar valores de corrente em circuitos elétricos, existe o transformador de corrente. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao de um transformador de duas bobinas, na primária é conectado a corrente nominal, e no secundário se obtém uma corrente com proporção definida pela relação destas bobinas (MACHADO, 2009).

Além dos citados, existe outra maneira de executar esta medição, que é o sensor de efeito *Hall*. Esta opção é dada assim como na medição de tensão, tendo o mesmo princípio de funcionamento, mas apresentando na saída do componente o valor em corrente. O sensor de efeito *Hall* ACS712ELCTR-30A-T, da fabricante Allegro MicroSystems apresenta um bom desempenho a essa aplicação. Seu erro de saída é de, no máximo, 1,5 %, a temperatura ambiente de 25 °C, tem um baixo consumo de energia por sua resistência interna ser de 1200 $\mu\Omega$, sendo uma solução precisa e econômica (ALLEGRO, 2012).

De mesma metodologia, outra possibilidade é o transdutor de corrente modelo LA 55-P do tipo “janela”, para medição de corrente contínuas e alternadas e que permite fixação em placas de circuito impresso. Como vantagens destaca-se a alta imunidade a interferências, precisão e boa linearidade, aplicando-se em usos alimentado por bateria. Este sensor é considerado não invasivo, por não ser necessário a abertura do circuito para sua conexão em série (LEM, 2015).

Outros transdutores de tecnologia *Hall* são comercializados pelo fabricante Secon Sensores e Instrumentos, um deles é o Linha 35C05VDC para medidas de sinais em corrente contínua. Apresenta erro máximo de $\pm 1\%$ e saída em tensão de no máximo 5 V (SECON, 2016).

2.6 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

A temperatura é uma das principais grandezas em âmbitos elétricos e físicos, pelo fato de que as propriedades dos materiais existentes podem ser alteradas conforme a temperatura. Em relação a área elétrica, uma das principais alterações é na condutividade dos materiais (FRANÇA, 2007).

Para que se possa aferir esta grandeza existem vários métodos. Um instrumento de medição muito conhecido é o termômetro de líquido em bulbo de vidro, o qual tem seu funcionamento baseado no líquido interno, que se expande frente à elevação da temperatura, com isso é verificado o valor da mesma em uma escala impressa no próprio bulbo. Outro instrumento é o pirômetro infravermelho, o qual funciona pelo princípio de que todos os corpos emitem ou absorvem energia. Este aparelho, através de sensores fotoelétricos, mede esta energia e, com esta medição, apresenta uma temperatura referente (FRANÇA, 2007).

Outro modo de medição são os sensores eletrônicos. Um sensor adotado em larga escala, principalmente em indústrias, é o RTD (*Resistance Temperature Detector*), também chamado de termoresistor. Seu funcionamento é baseado em uma resistência interna, visto que o valor da resistência equivalente desse metal, aumenta proporcionalmente à temperatura e através de um condicionamento do sinal torna possível a medição da grandeza na qual o sensor se encontra (FRANÇA, 2007).

Similarmente, encontra-se o DHT11, utilizado para medir temperatura e umidade, que tem um conversor A/D interno, e disponibiliza sua saída em sinal digital. Além desse, é comumente utilizado nas medições de temperatura o LM35 em sistemas de aquisição de dados, disponibilizando uma saída em tensão proporcional e linear em relação a temperatura (LINN et al, 2012) (REZENDE, 2007).

De modo semelhante de funcionamento ao LM35 existe o TPM37, segundo Analog Devices (2006) o sensor de temperatura de baixa tensão e de boa precisão, não necessita de nenhuma calibração externa para fornecer erros de no máximo 2 °C em temperatura entre -40 °C e 125 °C, podendo simplificar os circuitos de controle e para o conversor A/D. Com um baixo consumo de corrente, é um transdutor que auxilia em variadas aplicações, incluindo a área automotiva.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, é discutido o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados como um todo, a fim de apresentar os aspectos mais importantes do *hardware* executado nesse trabalho, bem como desenvolver o *software* que irá processar os sinais.

O procedimento adotado para o projeto dos diversos circuitos pode ser dividido nas etapas de: Desenvolvimento e testes do circuito no *software* gratuito PSIM® versão 9.0.3.4; Montagem e ensaio em *protoboard*; Projeto e desenvolvimento das placas de circuito impresso e; Teste do sistema de monitoramento proposto.

Inicialmente, foram desenvolvidos e realizados testes dos circuitos em simulações, para que se pudesse obter uma referência para os resultados de prática. Além disso, a simulação torna possível uma prévia do que será visto quando montado o circuito físico e previne de alguns erros de circuito.

Após as simulações dos circuitos, foi verificado que seus resultados estavam correspondentes ao esperado, decidiu-se então montar estes em *protoboard*. Esse procedimento foi implementado pelo fato que os resultados de simulações nem sempre são condizentes com os da prática, ocorrendo alguma incoerência nos testes, os componentes ainda não estão fixados em placa.

Com as medições realizadas para cada circuito e analisando seus resultados que se mostraram condizentes com o esperado, determinou-se que poderiam ser desenvolvidas as placas de circuito impresso, buscando, dessa forma, evitar algumas falhas devido ao mau contato, ou então defeitos em trilhas da *protoboard*.

Por fim, com todos os testes anteriores efetuados e resultados coerentes, foram realizadas as medições colocando todo o sistema em funcionamento.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO ELÉTRICO

O diagrama de blocos, apresentado na Figura 5, mostra o sistema em forma de blocos, que são melhor descritos em 3.2. Para que o sistema pudesse ser desenvolvido, inicialmente buscou-se analisar as características técnicas do veículo puramente elétrico (VEB) desenvolvido pela UTFPR – Pato Branco para competições de eficiência energética no qual é baseado este trabalho, bem como o que seria viável para efetuar as medições. Por se tratar de um veículo de competição, a primeira limitação é o espaço que pode ser destinado ao sistema, devendo ser questionado os tamanhos dos componentes. Outro empecilho, é a vibração durante a movimentação do veículo, para isso uma simples alternativa de soldagem em placa de circuito impresso foi a opção definida. Além disso, o sistema a ser montado tem disponível como especificação técnica do veículo, sistema totalmente em corrente contínua, alimentação que pode variar de 0 a 36 V e correntes que no intervalo de -30A a +30, levando em consideração uma futura implementação de sistema de regeneração de energia.

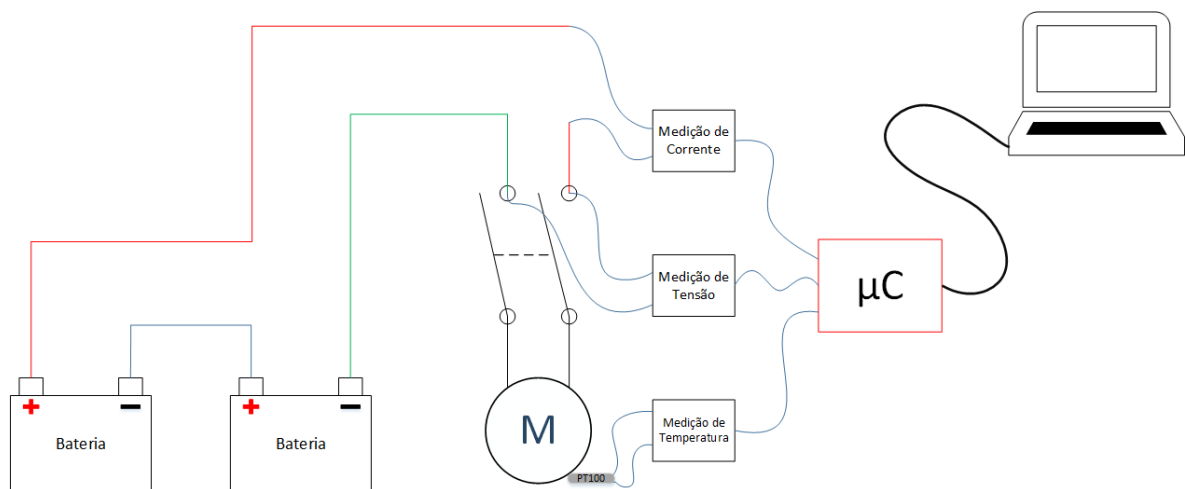


Figura 5 – Diagrama de blocos do funcionamento do sistema
Fonte: Autoria própria

Quanto à taxa de amostragem do sistema, o critério adotado foi que envio das medições seriam feitas a cada segundo e armazenadas no computador. Essa limitação de tempo foi dada pelo fato de o *datalogger*² ter esse tempo para

² Define-se *datalogger* como uma ferramenta projetada para realizar a medição e registro de parâmetros físicos ou elétricos em um intervalo de tempo. São usados em variadas aplicações, como data logging no veículo e monitoramentos. Algumas medições comuns são temperatura, deformação, tensão, corrente, pressão, força e aceleração (NATIONAL INSTRUMENTS, 2007).

amostragem, como os dados de medição seriam validados em comparação com os dados do *datalogger*, definiu-se como um segundo, o tempo para coleta de dados pelo sistema. Um aspecto importante é que a determinação da temperatura é feita no motor, posição onde o valor desta grandeza é crítico e o que torna fundamental sua medição, os limites adotados são de 0 °C a 200 °C.

Após a análise dessas e outras características, e com a prévia definição das grandezas a serem medidas, escolheu-se através do que foi discutido neste item, os sensores a serem utilizados, levando em conta as especificações.

3.2 SISTEMA PROPOSTO PARA MONITORAMENTO

O sistema proposto para monitoramento consiste de sensores para medição acoplados ao seu circuito de condicionamento de sinal, Unidade Central de Processamento (do inglês *Central Processing Unit - CPU*) e Link de comunicação, conforme apresentado na Figura 6.

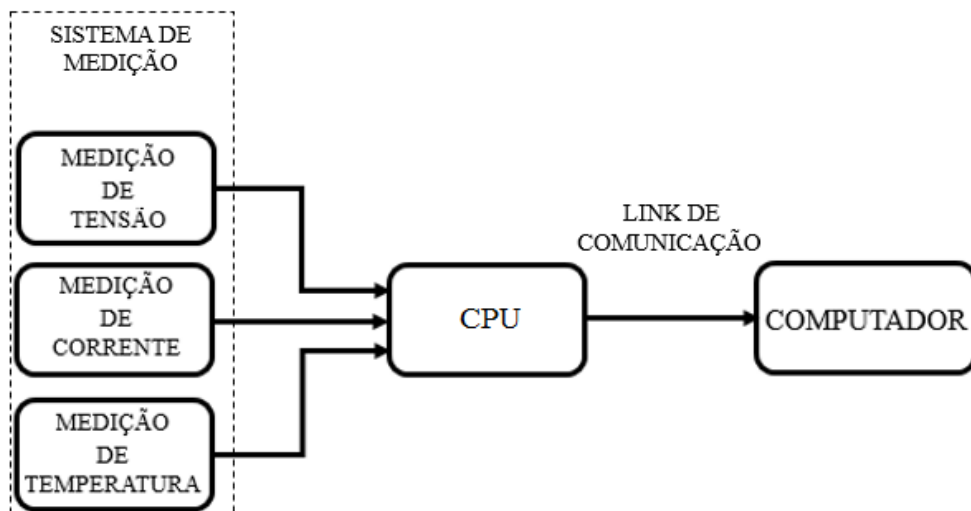


Figura 6 – Diagrama de blocos do sistema embarcado
 Fonte: Autoria própria

O sistema de medição é composto de 3 pontos, os quais são responsáveis pelo sensoriamento da tensão, corrente e temperatura. Através desse, cada bloco realiza as medidas por meio de seu circuito elétrico, e tem, como saída, um nível de tensão correspondente ao valor da grandeza medida.

O bloco responsável pela medição da tensão do sistema proposto levou em conta os requisitos de projeto vistos no subitem 3.1 para a escolha da forma de medição. Com isso, definiu-se que seria usado um divisor resistivo acoplado a um amplificador de instrumentação, pela necessidade da obtenção de uma referência ao sistema que estava com sua medição oscilando pela falta de uma, forma a qual é melhor argumentado em 3.3.

O conjunto encarregado pela medição do valor de corrente, utilizada pelo veículo elétrico, considerou os requisitos de projeto explanados anteriormente. Atendendo às particularidades impostas, definiu-se que a corrente seria aferida através de um sensor de efeito *Hall*, justificado no subitem 3.4.

Já o bloco incumbido pela medição da temperatura, a qual esse processo está exposto, mais precisamente no motor do veículo, foi definido que seria realizado pelo sensor PT100, acompanhado de um circuito elétrico que fizesse o condicionamento desta grandeza, sendo esses englobados nas particularidades exigidas ao projeto.

Para que as grandezas mensuradas pudessem ser transmitidas, tanto do seu sensoriamento à CPU, foram utilizados fios de cobre para que o valor analógico de tensão, correspondente a cada grandeza, chegasse ao microcontrolador. A transmissão dos dados da CPU para o computador, foi realizada através do *link* de comunicação, conectado ao Barramento Serial Universal (do inglês, *Universal Serial Bus – USB*).

O elemento computacional utilizado nas medições, continha o programa de telemetria responsável pelo armazenamento de dados desenvolvido pela UTFPR – Pato Branco. Os dados oriundos da CPU, eram armazenados, o que proporcionou, posteriormente, a reprodução de gráficos exibindo as medições realizadas. Na Figura 7 pode-se analisar a interface do programa citado:

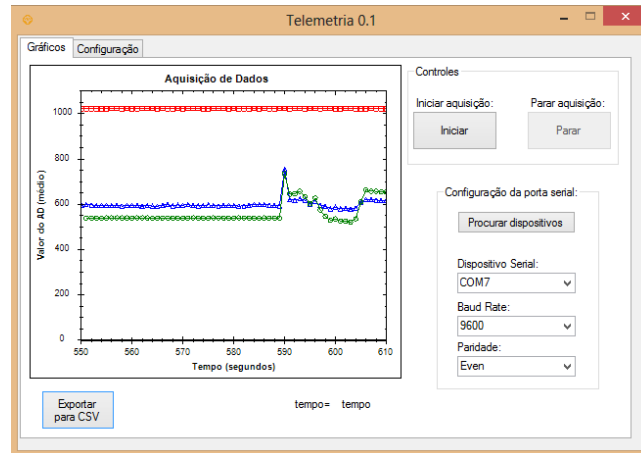


Figura 7 – Programa de Telemetria
Fonte: Autoria própria

Para que o sistema de monitoramento pudesse se fazer completo no que diz respeito ao processamento digital e as informações coletadas pudessem ser transmitidas ao computador, fez-se necessário o uso do microcontrolador, indicado no bloco referente à CPU do sistema. Além de coordenar todo o sistema, torna possível a leitura desses sensores, e a exibição de seus valores em tela. Nesse controlador, está inscrito o código desenvolvido, responsável pelas leituras e armazenamentos dos dados.

Com isso, definiu-se a utilização do microcontrolador MSP430G, que é visto na Figura 8, por motivo da grande disponibilidade desse material dentro da Universidade, bem como pela familiaridade com o mesmo e sua linguagem, pelo fato de ser utilizado em algumas disciplinas do curso de Engenharia Elétrica. Além disso, o equipamento possui uma arquitetura RISC/ Von Neumann de 16 bits, e opera em uma frequência interna máxima de 16 MHz. Outro aspecto muito importante, levando em conta os requisitos do sistema, é seu baixo consumo de energia (PEREIRA, 2005).

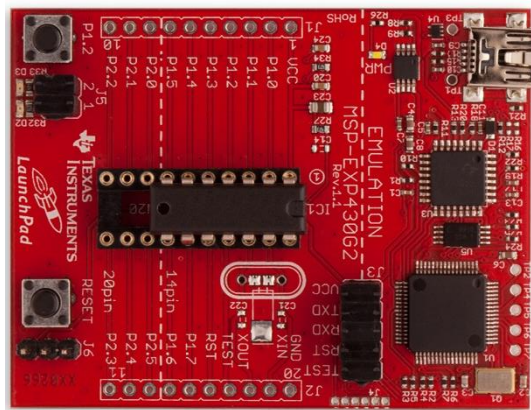


Figura 8 – Microcontrolador MSP430G
Fonte: Texas Instruments

Dentre vários periféricos incluídos disponíveis no microcontrolador, um ponto a ser destacado desse componente, por ser de grande relevância ao desenvolvimento do sistema, é o conversor A/D. Segundo Pereira (2005), o conversor A/D–de 10 bits, faz a leitura da tensão em sua porta ser dividido em 1024 níveis. Quando sua entrada recebe 3,6 V (tensão máxima suportada pelo conversor), sua contagem apresenta um nível igual a 1023 (por contar o zero). Tem a capacidade de coletar até 200000 amostras por segundo. Estas especificações são importantes pelo fato de todas as entradas do conversor receberem sinais de tensão diferentes e correspondentes a cada grandeza, mas o microcontrolador define um número proporcional a esta tensão dentro da escala de 0 a 1023 em sua leitura. Será necessário posteriormente o uso desta proporção, juntamente com as fórmulas da aquisição de dados, para identificar o valor real da grandeza aferida.

Nos próximos capítulo serão abordados a forma de sensoriamento definida para cada grandeza, que levou em consideração as características técnicas do veículo, bem como suas especificações, discutidas no subitem 3.1.

3.3 CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO

Como descrito no item 2.4, existem vários métodos de medição de tensão. Através dos requisitos de projeto e características do sistema de energia a ser monitorado, definiu-se o método de amostragem de tensão.

Como a medição será constante, e o veículo permanece em movimento, qualquer instrumento, como voltímetro, se torna inviável a esta aplicação por não ser compatível com as características da finalidade da medição, porque deve-se efetuar seu monitoramento no tempo e este realiza medições instantâneas para indicar visualmente o valor de tensão medido. Acrescentando a isto, o fato de não possibilitar sua aplicação em sistemas microcontrolados. Em relação ao transformador de potencial, apesar de sua simplicidade de uso, este elemento mede apenas correntes alternadas, não sendo aplicável a esse sistema.

O transdutor apresentado anteriormente LV25-P, mesmo tendo boa compatibilidade com aplicações de gerenciamento de energia automotiva, sua utilização foi excluída, pelo fato de medir tensões superiores a 10 V até 500 V. Mesmo contemplando a especificação máxima do veículo de 36 V, as tensões inferiores a 10 V também são importantes para a análise do funcionamento do protótipo. Assim como nesse caso, o sensor US1881 da Melexis de tecnologia *Hall*, teve sua aplicação descartada, por realizar medição de tensões máximas de 28 V, não atendendo a particularidade do sistema.

De modo a realizar a medição de tensão, por apresentar compatibilidade com as exigências que a alternativa, foi então definida que a opção utilizada seria o divisor resistivo para reduzir a tensão de entrada e, incrementando a ele um amplificador de instrumentação, que será responsável por fornecer uma referência estável, juntamente a um ganho na medição, apresenta assim as seguintes vantagens:

- Facilidade de montagem e manutenção;
- Pequeno espaço físico;
- Pequeno erro de medição, por ter elevada linearidade.

Entretanto, as maiores desvantagens associadas aos divisores resistivos são:

- Perdas por efeito Joule: uma das formas desta perda é pela tensão, quanto maior a tensão aplicada ao divisor, maior será a perda. Como recurso a esta limitação, definiu-se altos valores de resistência a serem utilizados para minimizar as perdas;

- Alteração no valor da resistência conforme a temperatura, o que torna crítico com a utilização do divisor resistivo em meio a altas temperaturas. Porém esta característica é pouco significativa se o divisor está encapsulado e é de boa qualidade.

O nível de tensão ao qual o motor do veículo está operando é de grande importância, por se tratar de um veículo elétrico, afinal, esse é o seu “combustível”.

Para que se pudesse efetuar a aquisição do valor da tensão disponível ao sistema do veículo, definiu-se, como visto anteriormente, que seria projetado e desenvolvido o divisor resistivo.

Partindo desse princípio, foi escolhido resistências de alto valor, para minimizar perdas por efeito Joule, e definiu-se a relação dos resistores para obter um valor de saída de no máximo 3,3 V. Esta limitação do valor de tensão é definida pelo fato do microcontrolador utilizado suportar no seu limite superior 3,6 V, em sua porta de entrada do conversor A/D. Adotou-se então uma margem de segurança de 0,3 V, para evitar danos aos componentes.

Esse circuito resistivo permite que o microcontrolador faça a leitura da tensão que apresenta em uma de suas portas, a qual é proporcional a da bateria do veículo que alimenta todo o sistema. Na Figura 9 é ilustrado o esquemático do circuito elétrico de medição de tensão.

Considerando o divisor de tensão da Figura 4, onde V_2 é a queda de tensão provocada pelo resistor R_2 e I como a corrente que circula nos resistores R_1 e R_2 . Pela Lei de Ohm, a corrente I pode ser calculada pelas equações 1 ou 2.

$$I = \frac{V_{fonte}}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$I = \frac{V_2}{R_2} \quad (2)$$

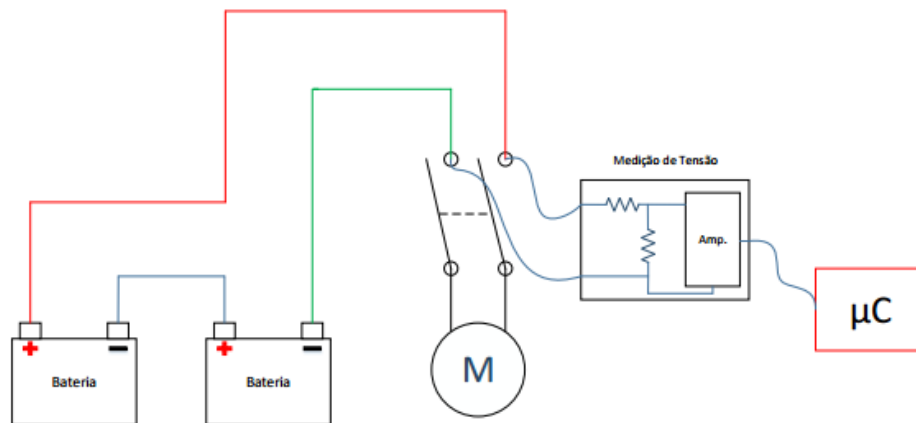


Figura 9. Ligação feita para obtenção da tensão.
Fonte: Autoria própria

Substituindo a equação 2 na equação 1 e reescrevendo, têm-se para o cálculo de R_2 a equação 3 e 4.

$$\frac{V_2}{R_2} = \frac{V_{\text{fonte}}}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{V_2 R_1}{V_{\text{fonte}} - V_2} \quad (4)$$

Inicialmente, como proposta do projeto, a tensão máxima considerada para V_{fonte} era de 24 V conforme motor utilizado. Analisando a possibilidade de um aumento na quantidade de baterias foi considerado a tensão máxima da fonte com 36 V. Para R_1 foi definido uma resistência de 100 k Ω e tensão máxima nos terminais de entrada do microcontrolador, como comentado anteriormente de 3,3 V. Devido a esta margem de segurança e pelo fato do circuito amplificador de instrumentação ter um ganho igual a 3, o divisor resistivo foi calculado para uma tensão de 1,1 V quando a tensão das baterias for de 36 V. Substituindo esses, valores na equação 4, tem-se:

$$R_2 = \frac{1,1 \times (100 \times 10^3)}{36 - 1,1}$$

$$R_2 = 3151,86246 \Omega$$

Desta forma, definiu-se o resistor que estivesse disponível como material mais próximo do valor calculado, e que limitava a tensão ao nível máximo suportado pelo microcontrolador, que é o resistor de valor igual a 3 kΩ.

Com a definição do valor usado de resistor, foi calculado, com a mesma equação 4, o valor da tensão máxima disponibilizado aos terminais do amplificador de instrumentação diferencial, que chegou ao seguinte valor:

$$3 \times 10^3 = \frac{V_2 \times 100 \times 10^3}{36 - V_2}$$

$$V_2 = 1,0485 \text{ V}$$

Caso seja efetuado o acréscimo de mais baterias ao sistema de veículo, além dos 36 V considerados, a simples substituição do resistor calculado resolve esta situação.

3.3.1 Amplificador de Instrumentação

A fim de adequar a referência da medição de tensão, que apresentava dados oscilantes, foi definida a utilização do amplificador de instrumentação diferencial de ganho ajustável. Para que se possa visualizar melhor uma imagem, por exemplo, pode-se usar o recurso de ampliá-la, analogamente pode-se ampliar valores de tensão nos circuitos elétricos aplicando-se um ganho, quando se deseja observar algum nível de tensão de baixa amplitude, é possível amplificá-lo para melhor compreensão deste. Para isso, por volta da década de 40, surgiram os amplificadores eletrônicos, que têm a função de converter um sinal na sua entrada para um sinal de saída, com um ganho definido (PERTENCE JR., 2015).

No circuito amplificador de instrumentação diferencial, apresentado na Figura 10, são necessárias duas entradas em tensão, nesse caso V_1 e V_2 , e a saída (V_{out}) é resultado da multiplicação da diferença entre esses sinais com o ganho, onde a faixa comum aos dois sinais de entrada deve ser completamente rejeitada.

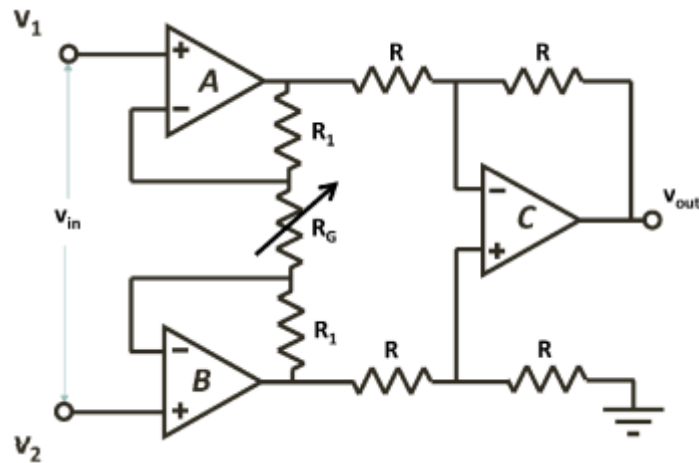


Figura 10 - Circuito amplificador de instrumentação de ganho ajustável
Fonte: PERTENCE JR (2015)

O ganho a ser definido pelo amplificador de instrumentação é geralmente definido pela razão das resistências que o acoplam, nesse caso, o ganho (A_v) do circuito amplificador de ganho ajustável, é determinado através da equação 5:

$$A_v = \frac{2R_1}{R_G} + 1 \quad (5)$$

O amplificador de instrumentação, é responsável por ler a tensão de entrada de seus terminais e aplicar um ganho A_v , o valor referente ao ganho é calculado pela equação 5:

$$A_v = \frac{2 \times 1}{1} + 1 = 3$$

A seguir, é apresentado o circuito desenvolvido inicialmente por simulação no *software* PSIM®, na Figura 11. Cada componente tem uma função na simulação do circuito, têm-se uma fonte de tensão representando a bateria do veículo, os resistores definidos anteriormente para divisão de tensão e também para o circuito amplificador, um voltímetro para identificar o valor de saída do circuito, e o bloco *Parameter Sweep* responsável, nesta simulação, por elevar os valores de tensão da bateria e assim visualizar a tensão máxima de saída, esses gráficos foram utilizados apenas na comprovação dos resultados de teste do circuito.

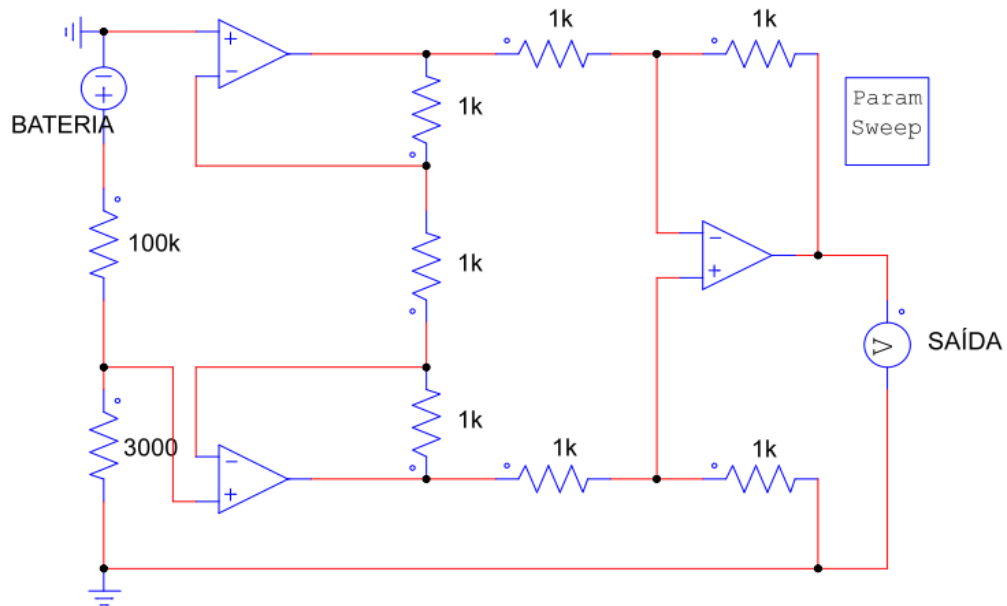


Figura 11 - Circuito referente a medição de tensão

Fonte: Autoria própria

3.4 CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE CORRENTE

Seguindo a mesma maneira de definição da melhor alternativa para a medição de tensão, será feita para medição de corrente.

Como já justificado anteriormente, o uso de instrumentos como amperímetro e amperímetro em alicate, se torna inviável a essa aplicação pela incompatibilidade com as características da finalidade de medição, impossibilidade de constante medição e aquisição dos dados, por indicar um valor visualmente instantâneo. Outro empecilho é o fato de que para efetuar-se a medição da corrente, faz-se necessária, dependendo do dispositivo utilizado, a abertura do circuito para posicioná-lo em série.

Sobre o uso do transformador de corrente, pode-se afirmar que, apesar de sua simplicidade de uso, esse componente mede apenas corrente alternada indisponível nesse sistema, tornando-o incapaz de ser empregado nesta aplicação pelas especificações do sistema.

Os sensores de efeito *Hall* são bastante utilizados para encontrar a corrente de um circuito ou componente. Evidenciado anteriormente, o sensor LA 55-P, que apresenta compatibilidade com aplicações automotivas e mede correntes bem

maiores que o necessário de 30 A, sua utilização foi desconsiderada, pelo modelo não tornar possível a medição de correntes negativas, necessitando contato com o fabricante para versões diferentes (LEM, 2015). A corrente negativa, ou contrária ao sentido de alimentação do motor, deve ser considerada pelo fato de que há o desejo de implementação de sistemas de recuperação de energia, como freios regenerativos. Mesmo motivo para descartar o uso do transdutor Linha 35C05VDC, do fabricante Secon, com limítrofe superior ao exigido de 35 A, realiza medição de apenas correntes em um sentido, não atendendo as premissas do protótipo (SECON, 2016).

Findando a análise das possibilidades a serem adotadas, as quais foram apresentadas no subitem 2.5, decidiu-se que a solução que melhor se adequava as especificações para a medição de corrente do sistema e pela disponibilidade de material, seria o sensor de efeito *Hall* ACS712, um modelo desse sensor é apresentado na Figura 12. De acordo com Allegro (2012), o sensor tem um *offset*, apresentado 2,5 V em sua saída quando a corrente for nula, o que possibilita a medição da corrente em ambos sentidos. O fabricante do modelo que será utilizado, cita mais algumas vantagens:

- Baixo ruído;
- Histerese quase nula;
- Reduzido espaço físico utilizado;
- Boa precisão (Erro de 1,5% a 25 °C);
- Fácil implementação;
- Por ser encapsulado, é imune a poeira, sujeira, lama e água;
- Baixa potência de perda.

Porém, o sensor apresenta algumas desvantagens como, por exemplo:

- Campo externo: como seu funcionamento tem o princípio baseado no campo magnético, outros campos externos podem influenciar nos resultados medidos. Para isso, procurou-se afastar o sensor de campos magnéticos de alta intensidade que poderiam ser prejudiciais à medição. Além disso, o fabricante indica que os terminais condutores de sinal são eletricamente isolados, o que permite a utilização desse sensor nesse tipo de aplicação sem opto-isoladores ou outras maneiras de isolamento.



Figura 12 – Exemplo de sensor de efeito *Hall* ACS712
Fonte: (ALLEGRO, 2012).

Para tornar possível a medição de corrente, a qual provém da bateria e é consumida por todo o sistema, foi definido anteriormente o uso do sensor de efeito *Hall*, sendo este o ACS712ELCTR-30A-T do fabricante Allegro MicroSystems. Esse sensor apresenta um bom desempenho a essa aplicação. Seu erro de saída é de, no máximo, 1,5 %, a temperatura ambiente de 25 °C, tem um baixo consumo de energia por sua resistência interna ser de 1200 $\mu\Omega$ (ALLEGRO, 2012).

Um parâmetro a ser considerado e de grande importância é o fato de que o sensor mede corrente contínua, mas também corrente alternada, por isso apresenta um *offset* ou degrau em sua saída de 2,5 V, ou seja, quando a corrente que passar por esse sensor for igual a 0 A, sua saída apresentará uma tensão de 2,5 V. Sua sensibilidade de saída é de 66 mV/A e o sensor suporta uma corrente máxima de 30 A (ALLEGRO, 2012).

Levando em consideração estas propriedades, quando sua corrente chegar ao máximo, ou seja 30 A, sua saída vai apresentar o valor de 2 V acrescidos de seu valor inicial que é de 2,5 V, totalizando em sua saída 4,5 V referente a corrente máxima aplicada.

Como visto previamente, têm-se a limitação do valor da tensão, pelo fato do microcontrolador utilizado suportar no máximo 3,6 V, em sua porta de entrada do conversor A/D. Adotou-se uma margem de segurança de 0,3 V, para evitar danos aos componentes, para isso a saída que era de 4,5 V deve-se reduzir a 3,3 V, como solução adotou-se um divisor resistivo. Para definição do circuito resistivo adotou-se que um dos resistores seria de 10 k Ω , e a outro foi calculada pela equação 3:

$$\frac{3,3}{10k} = \frac{4,5}{R_1 + 10k}$$

Logo:

$$R_1 = 3636,364 \Omega$$

Com isso, foi escolhida o resistor de 3,6 kΩ. Circuito este, disposto em blocos na Figura 13:

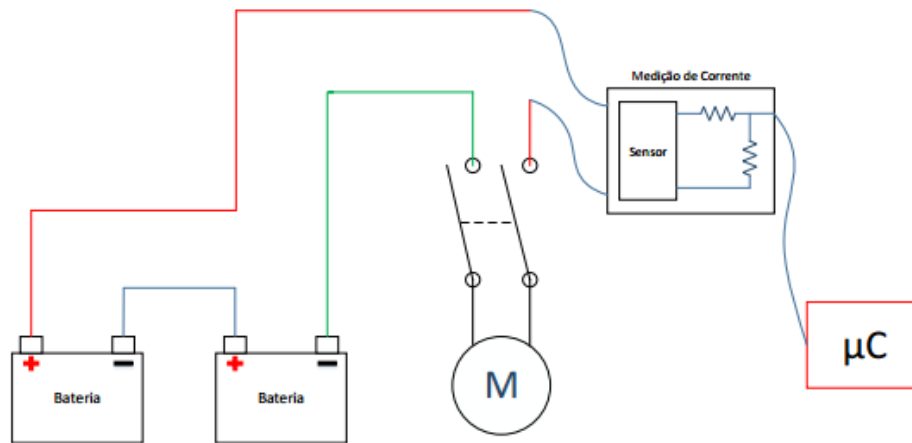


Figura 13 - Ligação feita para obtenção da corrente

Fonte: Autoria própria

Na sequência, ilustrado pela Figura 14, é apresentado o circuito desenvolvido por simulação no *software* PSIM[®] para a medição de corrente. Têm-se a fonte de tensão para representar a saída do sensor de corrente, que apresenta valores de tensão, como já mencionado. Além disso, são implementados resistores, definidos previamente, para divisão de tensão, um voltímetro para identificar o valor de saída do circuito, e o bloco *Parameter Sweep* responsável nesta simulação por elevar os valores de tensão da saída do sensor, e assim visualizar a tensão máxima de saída do circuito.

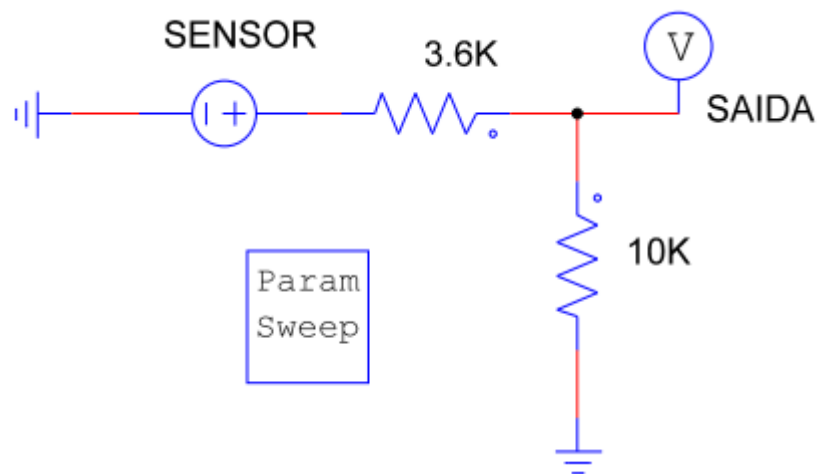


Figura 14 - Circuito referente a medição de corrente
Fonte: Autoria própria através do software PSIM®

3.5 CIRCUITO DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Como mencionado anteriormente, respeitando as especificações técnicas do veículo, como espaço físico limitado, exclui-se a possibilidade do uso de termômetro ou pirômetro. Esses instrumentos, se comparado a outras formas de medição de temperatura, devem ser manuseados para que se possa realizar a medição, impossibilitando seu uso em um carro elétrico de constante medição e leitura, implementada por um sistema microcontrolado.

As seguintes opções permitem que sejam implementadas em um sistema com microcontrolador. O DHT11 comunica-se de forma serial com o microcontrolador, que envia um sinal a ser interpretado com o valor de temperatura e umidade. Exclui-se a possibilidade de uso desse sensor, com o motivo de sua utilização ser para casos com temperaturas de no máximo 50 °C, uma vez que no veículo elétrico foi adotada uma temperatura máxima de 200 °C e para complementar não dispõe de uma boa precisão, constatada em aplicações anteriores.

O sensor LM35 apresenta uma boa linearidade de medição, mas também, além de sua fragilidade, não suporta temperaturas estipuladas previamente (0 °C a 200 °C), seus limites são de -55 °C a 150 °C, não contemplando o limite superior exigido ao sistema. De modo similar, o transdutor TMP37 da Analog Devices foi desconsiderado. Segundo o fabricante, ele é qualificado para aplicações automotivas,

mas neste caso não contempla as especificações de temperatura exigidas pelo protótipo (0 °C a 200 °C), pois seus limites superiores são de 150 °C.

Desta forma, como discutido em 2.6 e atendendo as exigências técnicas do veículo, foi definido que o sensor utilizado seria o RTD (*Resistance Temperature Detector*), ou termorresistor PT100, visto na Figura 15, e que apresenta funcionamento adequado ao que se pretende com o sistema. Suas vantagens são (SANTOS, 2010):

- Elevada precisão;
- Pode ser considerado linear aos limites de temperatura desta aplicação;
- Grande estabilidade e repetibilidade;
- Larga faixa de utilização;
- Com ligação adequada não tem limite de distância de operação, livre de histerese.

Como desvantagem pode-se citar:

- Elevado tempo de resposta: Por ser encapsulado, sua resistência têm uma alta inércia térmica, o que nesta aplicação não terá grandes problemas, pois não ocorrem alterações abruptas de temperatura.



Figura 15 - Exemplo de RTD (PT100)
Fonte: PIXSYS Electronics

O sensor utilizado para realizar as medições de temperatura, é considerado uma resistência linear em alguns intervalos de utilização, referentes a temperatura, por isso a norma internacional DIN – IEC 781/1985 padroniza os valores de resistência desse termoresistor, como é exemplificado na Figura 16:

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
0.00	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0.00
0.00	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00
110.00	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110.00
120.00	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120.00
130.00	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130.00
140.00	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140.00
150.00	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	150.00
160.00	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	160.00
170.00	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	170.00
180.00	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	180.00
190.00	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	190.00
200.00	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	200.00

Figura 16 - Valores padronizados do sensor PT100
Fonte: THERMOCOUPLE (1999)

A partir dos dados da Figura 16, e resultados em prática, pode-se encontrar uma média aproximada para a variação de temperatura e, com isso, concluiu-se que com o aumento de 1 °C à resistência, é acrescida em aproximadamente 0,386 Ω. Como a 0 °C à resistência do PT100, é de 100 Ω; toda a diferença de temperatura acima disso é somada ao seu valor inicial. Através da conclusão dos fabricantes, de que a sensibilidade do sensor é de aproximadamente 0,386 Ω/°C e que em 0 °C sua resistência é igual a 100 Ω, têm-se a seguinte equação 6 que resulta no valor da resistência:

$$R_{PT100} \approx 0,386x(Temperatura[^\circ C]) + 100 \quad (6)$$

Como já mencionado no trabalho, a temperatura é uma grandeza de grande importância, pois é capaz de alterar as características dos materiais. No caso desse sistema, a temperatura pode influenciar no nível de consumo da fonte de alimentação e também servir de alerta para problemas encontrados no veículo.

Com este intuito estabeleceu-se, como citado anteriormente, que seria usado o termorresistor PT100, para a aferição da temperatura na escala grau Celsius, do fabricante WZP.

Pelo fato de que esta resistência de platina modifica seu valor com a variação da temperatura, se fez necessária uma forma de medir esta variação. Como

o microcontrolador não consegue medir por sua entrada valores de variação de temperatura, mas sim de tensão pelo conversor A/D, para que pudesse realizar esta medição buscou-se um circuito capaz de detectar variações de resistência de um componente.

Segundo Campilho (2000), a ponte de *Wheatstone* serve como alternativa para esta função e é estruturada por 2 ramos em paralelo, constituídos cada um por dois resistores e uma fonte de alimentação, como pode ser visto na Figura 17. Sendo assim, definiu-se que seria adotada a implementação da ponte. Como a saída desta ponte apresenta um valor de tensão de amplitude reduzida, também se tornou indispensável a implementação de um amplificador de instrumentação, a fim de elevar a diferença de potencial medida.

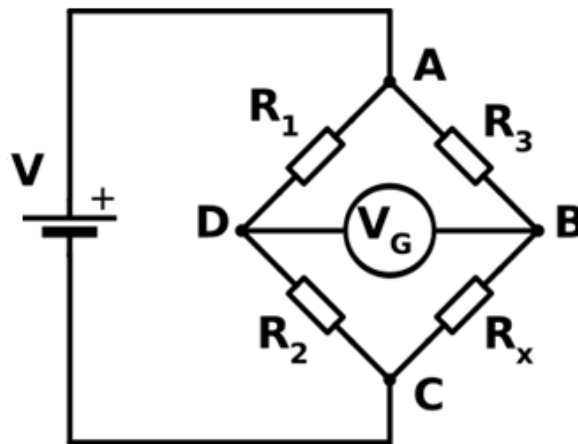


Figura 17 – Ponte de *Wheatstone*
Fonte: Editado de FILHO (1981)

Nesse circuito, é definido os valores de tensão do sistema (V), assim como os valores dos resistores R_1 , R_2 e R_3 . Através da condição de equilíbrio do sistema, busca-se obter o valor de resistência de R_x . A condição de equilíbrio diz que a diferença de potencial V_G é nula quando a corrente que circula pelos ramos (ABC e ADC) que ligam os pontos A e C forem iguais. Ou seja, se os resistores R_1 e R_3 , assim como, R_2 e R_x apresentarem a mesma tensão, entende-se por uma simples análise de malhas (ABD e BCD) que não haverá circulação de cargas em V_G . Logo, a equação 7 expressa esta condição (CAMPILHO, 2000):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \rightarrow R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (7)$$

Quando esta ponte entra em desequilíbrio, é possível encontrar o valor do resistor R_X , através da tensão diferencial V_G . Para obtenção da mesma, inicialmente, define-se os divisores de tensão vistos nas equações 8 e 9:

$$V_{AC1} = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

E também:

$$V_{AC2} = V \frac{R_3}{R_3 + R_X} \quad (9)$$

com esses divisores definidos, através da subtração dos mesmos, busca-se encontrar a diferença dos potenciais na equação 10, e com isso, define-se o valor de V_G . Caso V_G seja conhecido, é possível obter o valor de R_X :

$$V_G = V_{AC21} - V_{AC2} = V \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_X} \right) \quad (10)$$

esta equação é utilizada para que com o valor medido da diferença de potencial entre os ramos seja definido o valor de R_X e, com isso, encontrar a correspondente temperatura através da equação 6, na qual o valor de R_X substitui a variável R_{PT100} .

3.5.1 Ganho do Amplificador de Instrumentação

O circuito amplificador de instrumentação apresentado no subitem 3.3.1, também é utilizado nesta medição e tem um ganho calculado em função de seus resistores, aplicados na equação 5. O valor referente ao ganho é calculado na sequência da conclusão do circuito.

Por conseguinte, é exposto o circuito da simulação no *software* PSIM® para a medição de temperatura. Esse circuito pode ser dividido em duas partes, a primeira referente a ponte de *Wheatstone*, que será responsável por apresentar um diferencial

de tensão a cada temperatura correspondente. A segunda parte é referente ao amplificador de instrumentação, esse bloco é responsável por ler a tensão de entrada de seus terminais e aplicar um ganho A_v , calculado pela equação 5:

$$A_v = \frac{2 \times 3,3}{1} + 1 = 7,6$$

Na Figura 18, alguns blocos são pertinentes à simulação, como é o caso do voltímetro, para identificar o valor de tensão da saída do circuito. O bloco *Parameter Sweep*, responsável, nesta simulação, por elevar os valores de resistência do sensor PT100, e assim visualizar a tensão de saída referente a cada passo que a resistência aumenta.

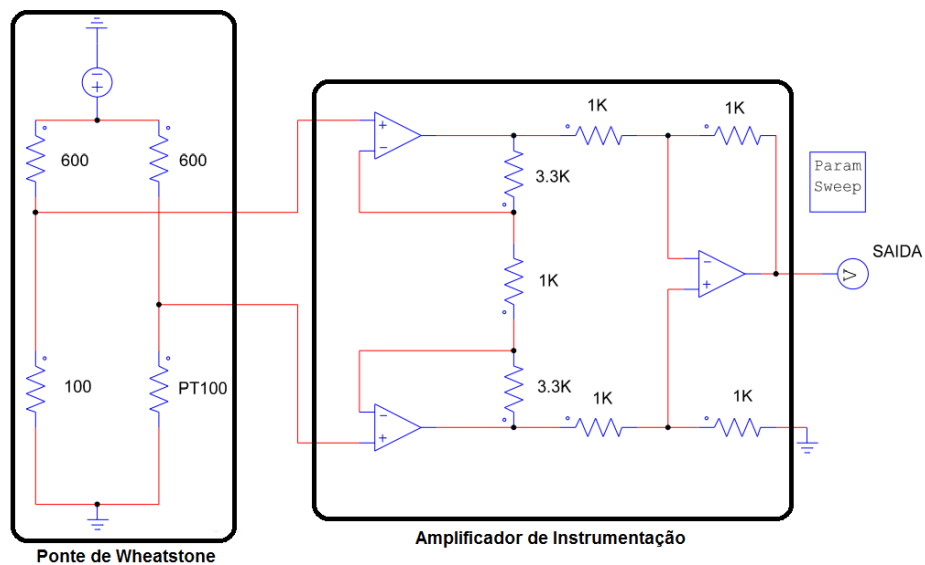


Figura 18 - Circuito referente à medição de temperatura
Fonte: Autoria própria através do software PSIM®

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são abordados os resultados obtidos com o sistema, em que após a análise de simulações, ensaios de laboratório e de testes em circuitos montados em *protoboard*, iniciou-se o projeto e desenvolvimento das placas de circuito impresso. Depois disso, foram realizados testes práticos com o sistema de aquisição de dados, para monitoramento do sistema desenvolvido nesse projeto, para um veículo elétrico.

As simulações no *software* PSIM[®], assim como os testes em *protoboard*, foram realizados no capítulo 3. Já os testes práticos além do que já havia sido mencionado no capítulo anterior, foram executados com motor a vazio. Todas as medições foram executadas com o motor alimentado com 24 V, para isso o mesmo foi ligado a duas baterias em série de 12 V cada, totalizando a tensão necessária para o seu funcionamento. Essas baterias eram conectadas aos terminais do motor fornecendo assim alimentação para a propulsão do mesmo. O sensoramento era feito em posições distintas, o sensor de temperatura foi acoplado à carcaça do motor, onde dispõe o valor mais crítico. O sensor de efeito *Hall*, responsável pela medição de corrente foi interligado de um dos terminais das baterias com um dos terminais do motor e a medição de tensão era feita com ligação em paralelo aos terminais das baterias, que são correspondentes aos terminais do motor. Os sensores providos de seu circuito de condicionamento de sinal foram ligados aos terminais do microcontrolador, destinado a converter os sinais analógicos em digitais, esse controlador processa os dados e transmite ao computador, através do código implementado.

Ao mesmo tempo a medição era comparada ao sistema de referência, dado pelo multímetro digital MD-6510 da empresa ICEL. Este produto realiza até 40 mil contagens, desenvolvido com uma avançada tecnologia de semicondutores. A fabricante apresenta suas características como alta confiabilidade, durabilidade e exatidão nas medições (ICEL, 2008).

Em cada etapa eram realizadas medições de uma grandeza por vez, pelo fato de que o sistema de referência só podia medir uma delas e salvar os dados no computador. As medições foram de tempos distintos, para corrente e tensão o tempo utilizado foi o necessário para que o motor não tivesse mais movimento em seu rotor.

Já os dados coletados de temperatura foram de um período mais curto, mas que fizesse esta grandeza chegar próximo a valores estáveis. Em todas as aplicações foram empregadas forças contrárias a direção de giro do rotor tentando freá-lo, que nos gráficos podem ser vistos como alterações abruptas, para que isso trouxesse alterações na corrente, tensão e temperatura medidas, a fim de testar o sistema desenvolvido. Os sinais de leitura eram enviados do microcontrolador ao computador na forma serial e então estes dados eram armazenados através do programa de telemetria. Simultaneamente o sistema de referência executava as mesmas medições e armazenava no computador, como visto na Figura 19:

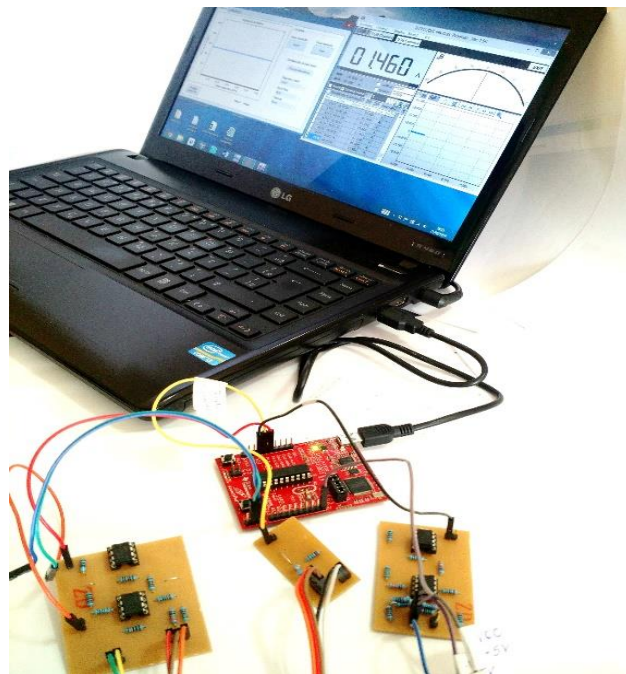


Figura 19 – Sistema proposto em funcionamento
Fonte: Autoria própria

Com esses elementos, era possível verificar os valores da medição, compará-los e apresentá-los em forma de gráficos, os quais foram concebidos no *software* MATLAB®.

O sistema de referência utilizado foi o Multímetro Digital ICEL MD-6510 e não o USB-6009 da *National Instruments* como citado nos objetivos do trabalho, pelo fato de que o funcionamento do USB-6009 ser o mesmo do microcontrolador, apenas leitura de uma tensão pelo seu conversor A/D. Dessa forma não seria possível a comparação do sistema de aquisição de dados como um todo, por isso realizou-se

esta alteração. A *interface* do programa de coleta de dados do multímetro, fornecido pelo fabricante, é apresentado pela Figura 20:

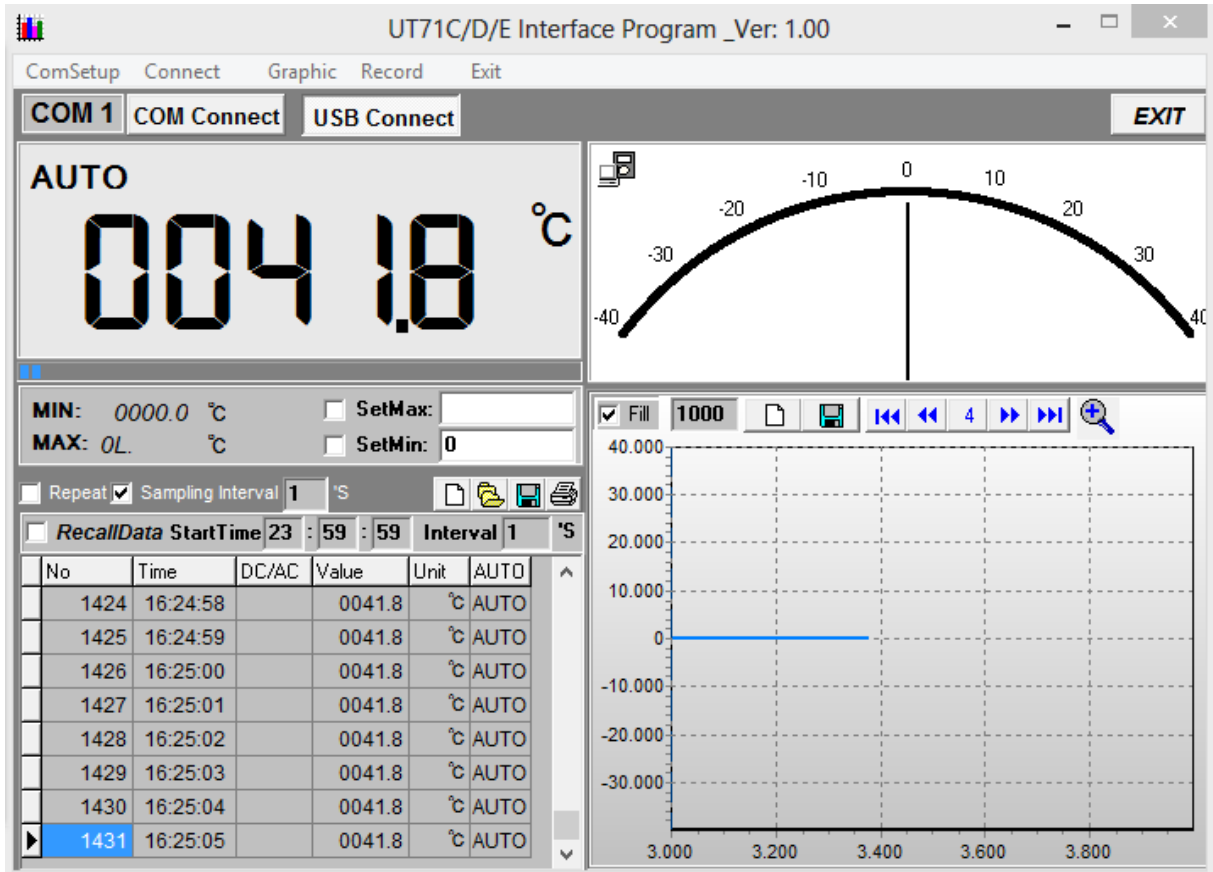


Figura 20 – Interface do programa que armazena os dados de medição do multímetro
Fonte: Autoria própria

Em relação à leitura feita pelo microcontrolador, esta é realizada pelo conversor A/D de 10 bits. A partir da interpretação feita pelo MSP430G será informado um valor de 0 a 1023, valor referenciado a entrada do conversor que varia de 0 a 3,6 V. Esta tensão era multiplicada por um coeficiente definido para cada grandeza e com esta relação o resultado apresentado foi o valor real da grandeza no tempo. Outra alteração necessária ao circuito, foi a retirada do diodo Zener destinado inicialmente à proteção para sobretensão, pelo fato de que quando conectado ao circuito, este limitava a tensão de saída de cada medição. Apesar da sua retirada, o *datasheet* do fabricante do microcontrolador fornece a informação de que as portas suportam até 3,9 V, o que nesta aplicação torna o sistema protegido neste sentido, por ser improvável alguma grandeza apresentar esse valor resultante na saída do circuito

para a entrada do conversor A/D. A seguir, serão apresentados o desenvolvimento de cada uma das placas e a medição correspondente do circuito.

4.1 MEDIÇÃO DE TENSÃO

Inicialmente foram obtidos a partir de simulações computacionais os resultados do circuito para a medição da tensão. As simulações foram baseadas no circuito previamente desenvolvido e mostrado no capítulo 3, Figura 11, que foi idealizado no *software* PSIM[®] e através deste, pôde-se chegar aos resultados de simulação, testando seu funcionamento antes da sua montagem física.

Na sequência, o circuito foi montado em *protoboard* e com auxílio dos valores de simulação, foram efetuadas algumas medições com valores aleatórios, comprovando a legitimidade do circuito para o seu propósito.

Após comprovada a efetividade do circuito nas medições comparadas a instrumento de referência, deu-se início a próxima etapa do trabalho, que era projetar, desenvolver e testar a placa.

4.1.1 Projeto da placa de tensão

Com o intuito de que a medição realizada não fosse influenciada por interferências ou problemas de circuitos, estes encontrados com mais facilidade em *protoboard*, optou-se pelo desenvolvimento de Placas de Circuito Impresso (PCI).

Para que seja confeccionada a placa é necessário utilizar uma ferramenta computacional específica para o desenvolvimento do esquema elétrico, o qual será utilizado pela prototipadora. No caso desse trabalho foi utilizado o *software* Eagle[®] para projetar a placa.

4.1.2 Placa desenvolvida para medição de tensão

Com o projeto realizado, o programa gera um arquivo que será utilizado para a produção da PCI, a máquina responsável por isto, interpreta o desenho do circuito elétrico e transfere-o à placa de fenolite. Posteriormente, os componentes eletrônicos são manualmente soldados com estanho em seus devidos lugares. O que se tem ao findar é o que mostra as Figuras 21 e 22.

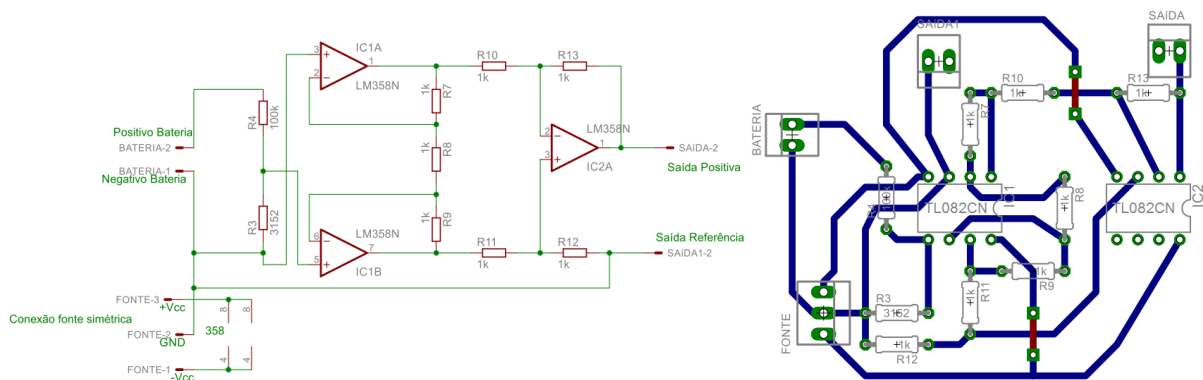


Figura 21 – Placa para medição de tensão, projetada no software Eagle®
Fonte: Autoria própria

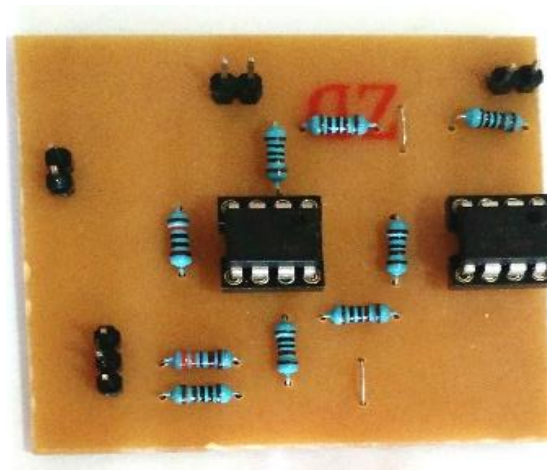


Figura 22 – PCI para medição de tensão
Fonte: Autoria própria

4.1.3 Medição do sistema de tensão

Após alguns testes com a placa confeccionada, concluiu-se por comparação a outro instrumento que o circuito estava habilitado para o seu propósito,

foram efetuadas então as etapas práticas de medição. Nesta etapa ligava-se o motor do carro elétrico a duas baterias, totalizando aproximadamente 25 V, encontrando os seguintes resultados vistos pelo gráfico gerado no *software* MatLab® e apresentado na Figura 23:

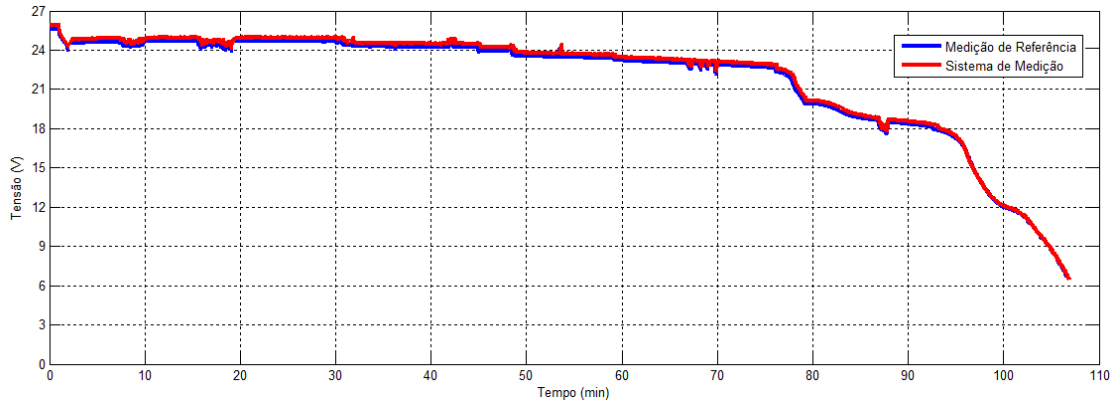


Figura 23 - Sinal de tensão obtido pelo sistema

Fonte: Autoria própria

Os resultados apresentados na Figura 22 mostram os níveis de tensão medidos pelo sistema, sujeito a pequenas oscilações devido aos aumentos de carga aplicados ao rotor. Durante a medição o sistema era comparado ao sistema de referência e o que se pode ver foram resultados com pequenos erros, que serão analisados no próximo capítulo.

4.2 MEDIÇÃO DE CORRENTE

Preliminarmente ao projeto, desenvolvimento e teste da placa de medição, foi necessário a realização de simulações do circuito responsável pela medição de corrente. Estas foram fundamentadas no circuito visto previamente no subitem 3.4, Figura 14, o qual foi implementado no *software* PSIM®.

Adotando que o veículo pudesse apresentar uma corrente de até 30 A, que também é o nível máximo suportado pelo sensor, foi implementado no *software* o circuito com o propósito de encontrar valores de saída para o circuito de corrente.

Através da simulação o valor da corrente de saída do circuito de medição de corrente, pode-se verificar que os resultados obtidos ficaram dentro do esperado.

Sua saída variava entre valores de 2,5 V a 4,5 V, logo, foi acoplado ao circuito um divisor resistivo para reduzir esta tensão, como mencionado no subitem 3.4, encontrando-se assim valores de 1,838 V a 3,294 V.

Por conseguinte, o circuito foi montado em *protoboard* e, com o subsídio dos valores de simulação, foram efetuadas algumas medições com valores aleatórios, mostrando-se estes, coerentes quando confrontados aos resultados da simulação e do instrumento de referência. Com as etapas concluídas, iniciou-se o projeto e desenvolvimento da PCI para medição de corrente.

4.2.1 Projeto da placa de corrente

A finalidade de transferir o circuito de *protoboard* para uma PCI é, justamente, para que se possa evitar ao máximo interferências ou problemas de circuitos, encontrados com menor frequência nas placas desenvolvidas.

Para a confecção da placa, utilizou-se de *software* específico na representação do esquema elétrico, este será utilizado pela prototipadora. No desenvolvimento desse circuito de medição de corrente foi utilizado o *software* Eagle® para projetar a placa.

4.2.2 Placa desenvolvida para medição de corrente

Com a conclusão do projeto da placa no *software* Eagle®, é extraído um arquivo em formato compatível com a prototipadora, a qual interpreta o circuito elétrico e traça os caminhos na placa de fenolite, na qual cada elemento será conectado na placa. Após finalizar o processo, os componentes eletrônicos são manualmente fixados com solda de estanho em seus lugares, e o resultado do projeto e da implementação são apresentadas pelas Figuras 24 e 25.

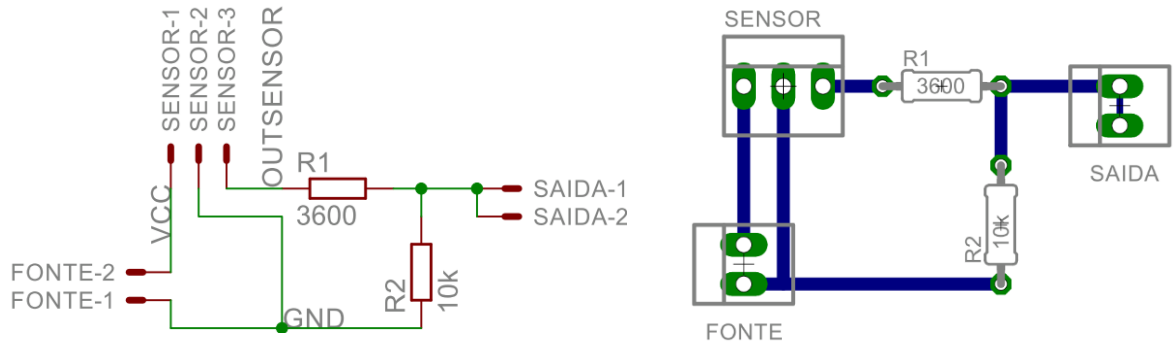


Figura 24 – Placa para medição de corrente, projetada no software Eagle®
Fonte: Autoria própria

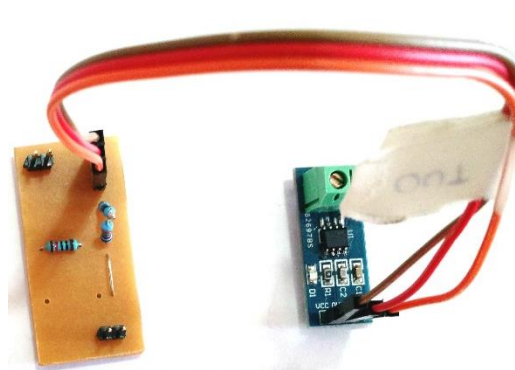


Figura 25 – PCI para medição de corrente
Fonte: Autoria própria

4.2.3 Medição do sistema de corrente

Após testes práticos, foi constatado que o circuito estava capacitado para o seu propósito. Foram então efetuadas as etapas práticas de medição. O circuito elétrico foi constituído de duas baterias em série, fornecendo uma tensão de 24 V ao motor. A medição realizada foi implementada em um gráfico no MatLab® e apresentado na Figura 26.

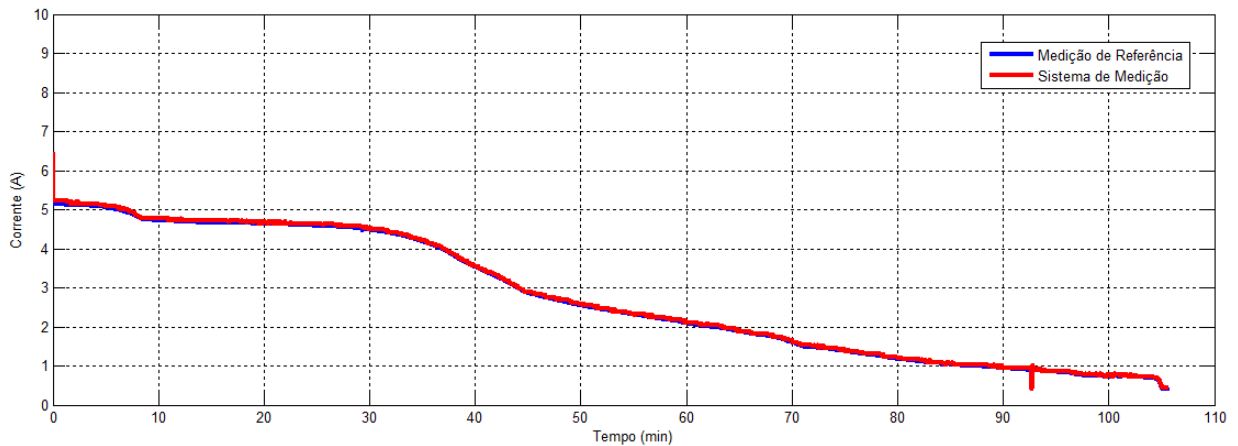


Figura 26 - Sinal de corrente obtido pelo sistema
Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos mostram os valores de corrente aferidos pelo sistema, os quais apresentaram um bom nível de exatidão comparados com o equipamento de referência. No experimento, pode-se visualizar a dinâmica do motor, que em sua partida tem um pico de corrente exibido na imagem. Algumas oscilações vistas no gráfico, deve-se ao fato da aplicação de uma força contrária a rotação do eixo de maneira aleatória no tempo. Durante a medição, o sistema era comparado a um multímetro com *datalogger*, o que foi observado é que seus resultados apresentavam erros pequenos e que serão apresentados no capítulo seguinte.

4.3 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Os resultados, primordialmente obtidos, foram contemplados a partir de simulações computacionais, por meio do circuito, para a aquisição dos valores de tensão. Estas, tiveram como fundamento o circuito inicialmente desenvolvido e mostrado no subitem 3.5, Figura 18, que foi idealizado no *software* PSIM® e, por meio deste, pôde-se chegar aos resultados de simulação.

Através desta simulação procurou-se encontrar uma prévia da saída do circuito de temperatura, que o motor, parte a qual torna-se necessária a medição no veículo elétrico, poderia alcançar valores de no máximo 200 °C. Por meio da Figura 16 é possível verificar que na temperatura em questão, o valor referente a resistência é de aproximadamente 175 Ω.

A tensão de saída do circuito responsável pela medição de temperatura, tem como limite 3,3 V, em que os valores medidos na grandeza não podem ultrapassar 200 °C para evitar que ocorra danos as portas do microcontrolador. Isto torna-se pouco provável, pelo fato de medições feitas no veículo utilizado mostrarem valores de temperatura de no máximo 150 °C.

Logo após, o circuito foi instituído na *protoboard* e, com auxílio dos valores de simulação, foram realizadas algumas medições com valores aleatórios, como temperatura ambiente e em água quente. Mostrando-se então condizente quando comparado aos resultados da simulação e de termômetros.

4.3.1 Projeto da placa de temperatura

Da mesma forma que nos outros circuitos, o objetivo de usar o circuito em PCI é para que a medição realizada não fosse influenciada por interferências ou problemas de circuitos. A placa teve seu esquema elétrico implementado no *software* Eagle®, este circuito foi então utilizado pela máquina de produção de placa para desenhar suas trilhas.

4.3.2 Placa desenvolvida para medição de temperatura

Com a conclusão do projeto da placa no *software* Eagle®, a prototipadora interpreta o esquemático e traça os caminhos na placa de fenolite, na qual cada elemento tem suas conexões fixadas. Após finalizar o processo, através de uma ponteira de solda e estanho, seus componentes eletrônicos são manualmente fixados, e o findar do desenvolvimento desta placa é apresentado pelas Figuras 27 e 28.

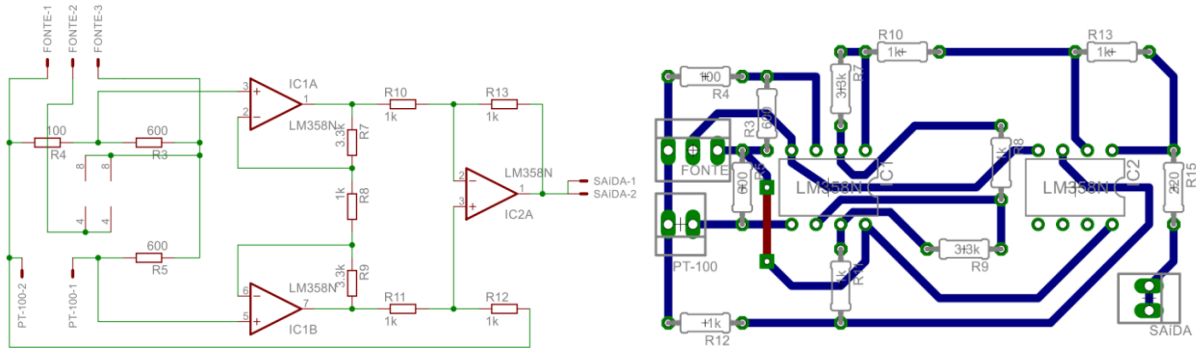


Figura 27 – Placa para medição de temperatura, projetada no software Eagle®
Fonte: Autoria própria

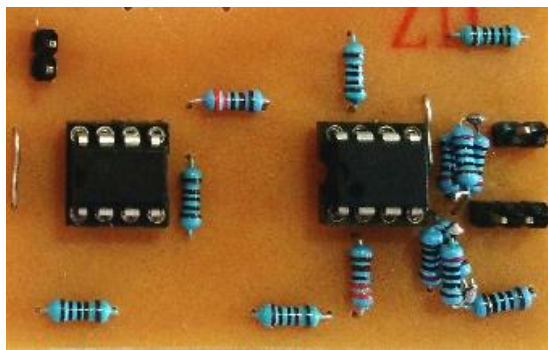


Figura 28 – PCI para medição de tensão
Fonte: Autoria própria

4.3.3 Medição do sistema de temperatura

Assim como nas outras medições que aconteceram, a aferição da temperatura também foi aplicada a uma tensão de 24 V no motor do veículo elétrico, constatando-se o que é exibido pela Figura 29, desenvolvido no programa MatLab®:

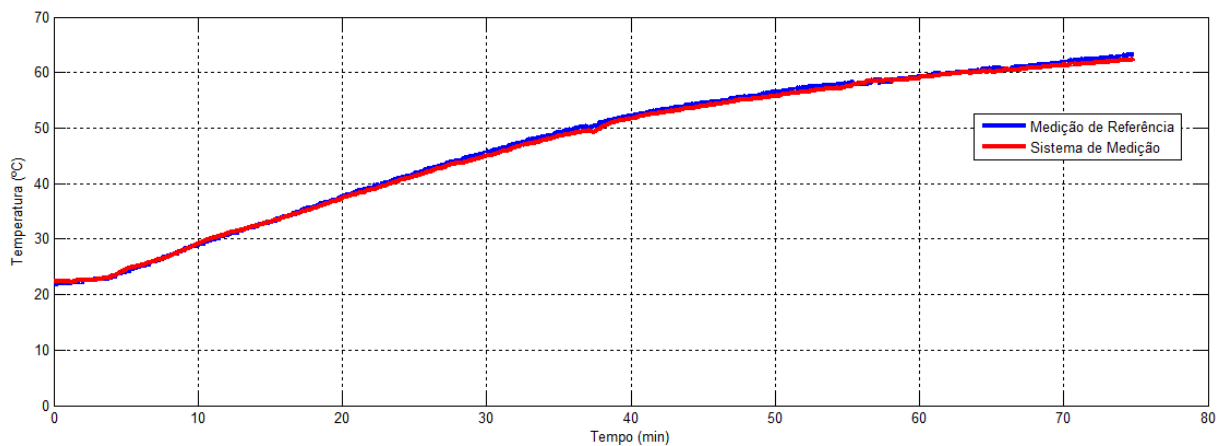


Figura 29 - Sinal de temperatura obtido pelo sistema
Fonte: Autoria própria

O que foi visto na Figura 28 é a medição de temperatura em grau Celsius do sistema. Nesta etapa, é visto que pelo fato de o motor atingir níveis de rotação nominais e sem carga no rotor, tem-se um ponto no qual sua temperatura tende a estabilizar. Durante a aquisição, o sistema foi acompanhado pela medição de um termômetro digital e do sistema de referência. O que foi visto com esse confronto de valores será apresentado no Capítulo 5.

O sistema completo foi montado acoplando as três placas desenvolvidas. A medição apresentada na Figura 30, foi realizada durante os testes, não sendo a mesma apresentada nos resultados e representa o funcionamento do sistema como um todo, com os níveis de tensão medidos e enviados ao computador, sujeito a pequenas oscilações devido a freadas aplicadas ao rotor. Durante a medição o sistema era comparado ao sistema de referência e o que se pode ver foram resultados com erros reduzidos, que serão analisados no próximo capítulo.

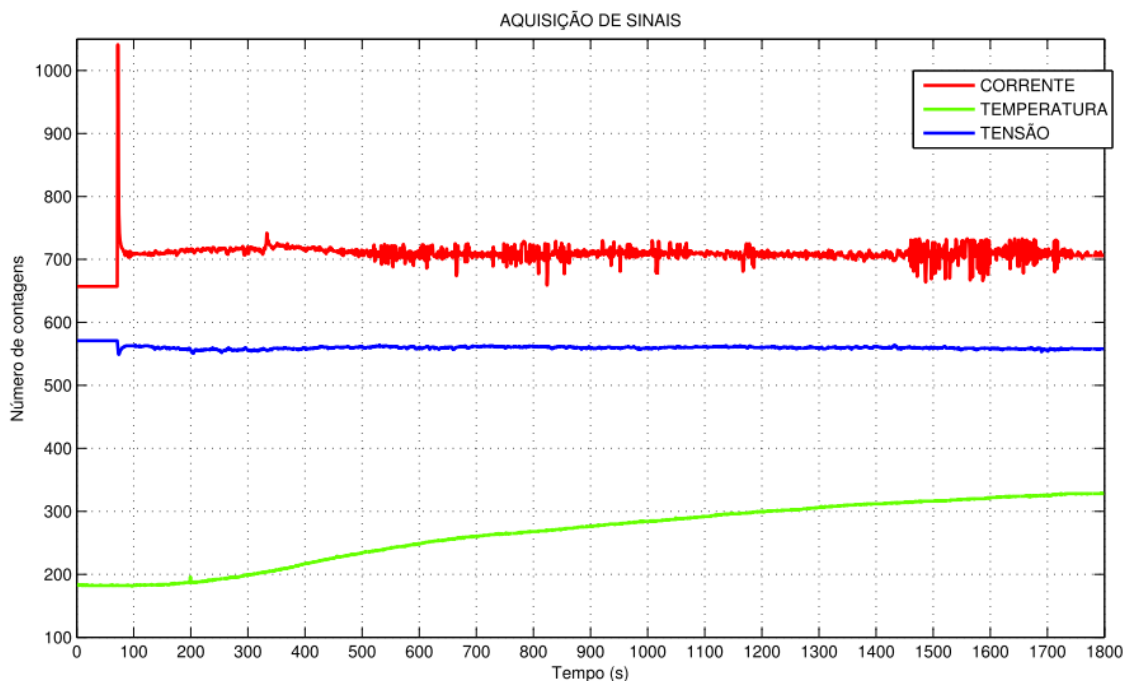


Figura 30 - Sinal de corrente, temperatura e tensão obtido pelo sistema embarcado
Fonte: Autoria própria

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

Neste capítulo será feita a análise estatística dos resultados em relação aos erros de dispersão que o sistema apresentou durante as medições.

5.1 ERRO NAS MEDIÇÕES

Cada vez mais se mostra necessário em diversas áreas, principalmente industrial, diferentes tipos de medição buscando a melhoria no sistema de produção, redução de gastos e evolução dos produtos. Sob outra perspectiva, a medição apresenta irregularidades em relação ao valor real medido. Para que essa medição possa ser a mais próxima do valor medido e assim colaborar nos objetivos citados, conforme o grau de exigência da exatidão na medição é estipulado um erro de medição (BARP, 2000).

Para casos mais críticos, em que as medidas devem ter mais rigor no quesito exatidão, o erro de cada componente como um todo deve ser calculado, para que se possa dimensionar o erro total, e ajustar a medição de forma coerente. Em alguns casos a medição não exige uma grande confiabilidade, podendo abordar outras formas para a solução desses erros (BRASIL, 2008).

Quando se deseja uma medição precisa e exata, alguns efeitos devem ser considerados, sendo eles temperatura, umidade, oscilações de alimentação, pressão atmosférica, dentre outras. Para isso, essas influências são definidas e então é calculado os erros que proporcionam em cada medida (FRANÇA, 2007).

Com o objetivo de que o erro seja nulo, é realizada a calibração na medição, um exemplo disso é a balança de duas bandejas. Nesta colocava-se o produto a ser pesado de um lado e do outro um peso padrão para comparação, até definir um ponto de equilíbrio e encontrar assim o peso ideal. Desta maneira, instrumentos de medição fazem a leitura, e comparam a medição feita por outro instrumento ou sistema de medição desenvolvido (FRANÇA, 2007).

5.2 DESVIO ABSOLUTO E PERCENTUAL

Considerando o sistema desenvolvido e analisando suas medições realizadas, no que se diz respeito aos erros de uma aquisição de dados, a análise deve ser feita verificando a dispersão dos dados coletados, não utilizando-se de ferramentas como média, mediana e moda que definem uma tendência central em relação aos dados. Com isso, podem ser definidas maneiras de medir a variabilidade nas medições, como nesse caso o desvio absoluto, desvio percentual, desvio médio, desvio padrão, amplitude e variância (VIEIRA, 2011).

Segundo Mentzer e Moon (2005), o erro absoluto irá quantificar o afastamento dos valores de cada grandeza para com o seu valor de referência, na unidade específica da medida. Já o erro percentual torna possível a comparação de dados, pois expressa o mesmo desvio só que em escala percentual (LOPES, 2002).

O desvio absoluto do erro é o módulo da diferença entre o valor medido e o valor de referência, isto é:

$$D = |VM - VR| \quad (11)$$

E o desvio percentual relativo ao erro pode ser calculado por:

$$DP = \frac{D}{VR} \times 100 \quad (12)$$

Em que:

D: Desvio absoluto

DP: Desvio percentual

VM: Valor medido

VR: Valor de referência

Através dos dados coletados, calculou-se pelas equações 11 e 12 os desvios absolutos e percentuais, encontrando os resultados vistos em gráfico de dispersão nas Figuras 31, 33 e 35, e histograma dos desvios nas Figuras 32, 34 e 36, referente a medição de tensão, corrente e temperatura, respectivamente.

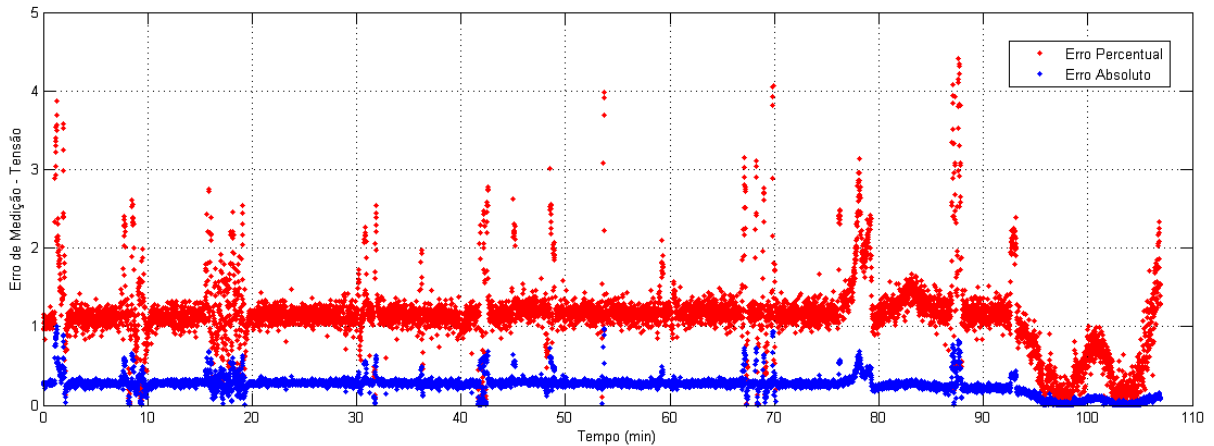


Figura 31 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de tensão
Fonte: Autoria própria

Na Figura 31, pode-se ver que na medição de tensão o sistema apresentou erros absolutos de até 1 V e erros percentuais de até 4,5 %. Nesses pontos onde o desvio apresenta um pico, deve ser considerado que foram instantes em que o sistema sofreu alterações abruptas em sua carga, fazendo com que apresentasse algumas oscilações, diferentemente de momentos em que a carga se mantinha constante ou com leves mudanças, como mostra o histograma da Figura 32.

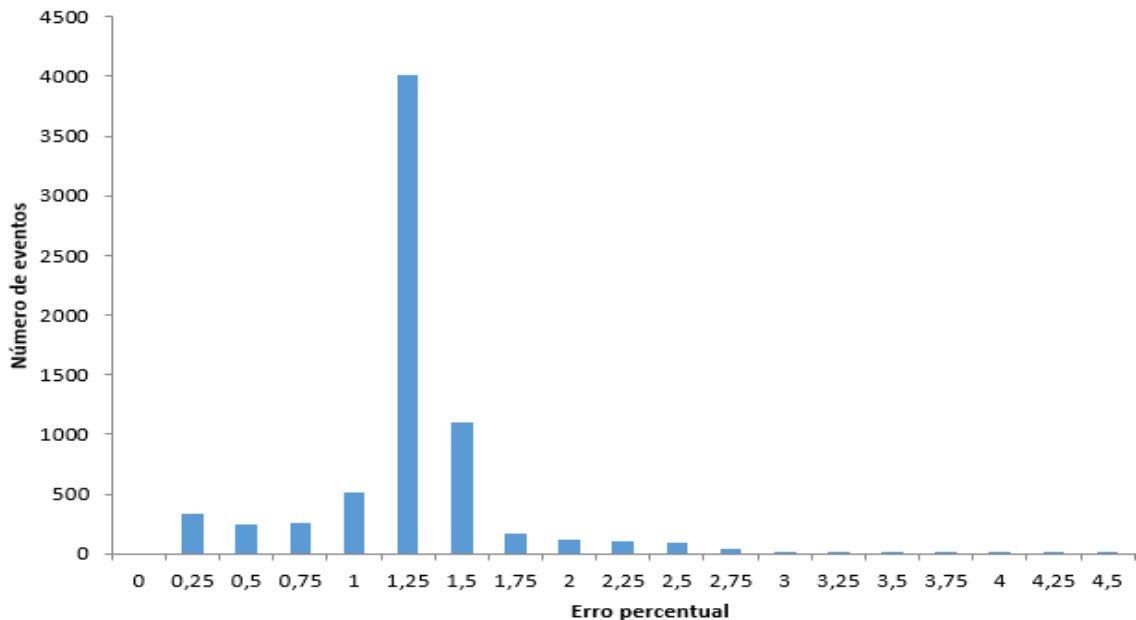


Figura 32 – Histograma de dispersão dos dados de medição de tensão
Fonte: Autoria própria

O histograma nos permite visualizar melhor os dados e a dispersão dos resultados, podendo assim concluir que por mais que os valores de tensão medidos chegassem a erros de 4,5 %, a maior parte concentrava-se em valores percentuais

menores do que 2,5%, no qual localizavam-se 98,38 % dos dados da medição de tensão.

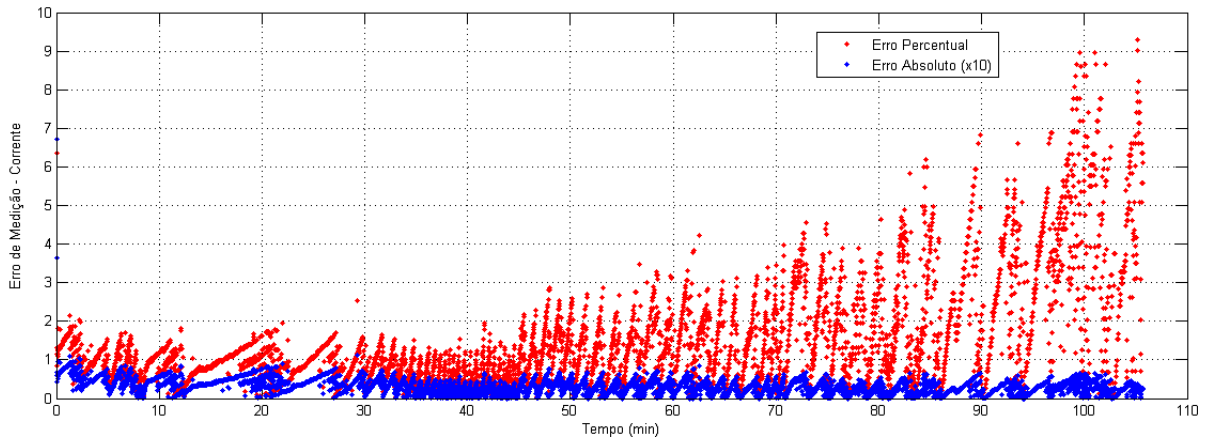


Figura 33 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de corrente
Fonte: Autoria própria

Na Figura 33, mostram-se os desvios na medição de corrente do sistema. Nessa situação, mesmo apresentando em alguns momentos erros percentuais de quase 10 % em períodos de oscilação, o que se pode ver foram desvios absolutos inferiores a 0,1 A pela maior parte do tempo que transcorreu a medição. Para análise destes desvios é apresentado o histograma da Figura 34:

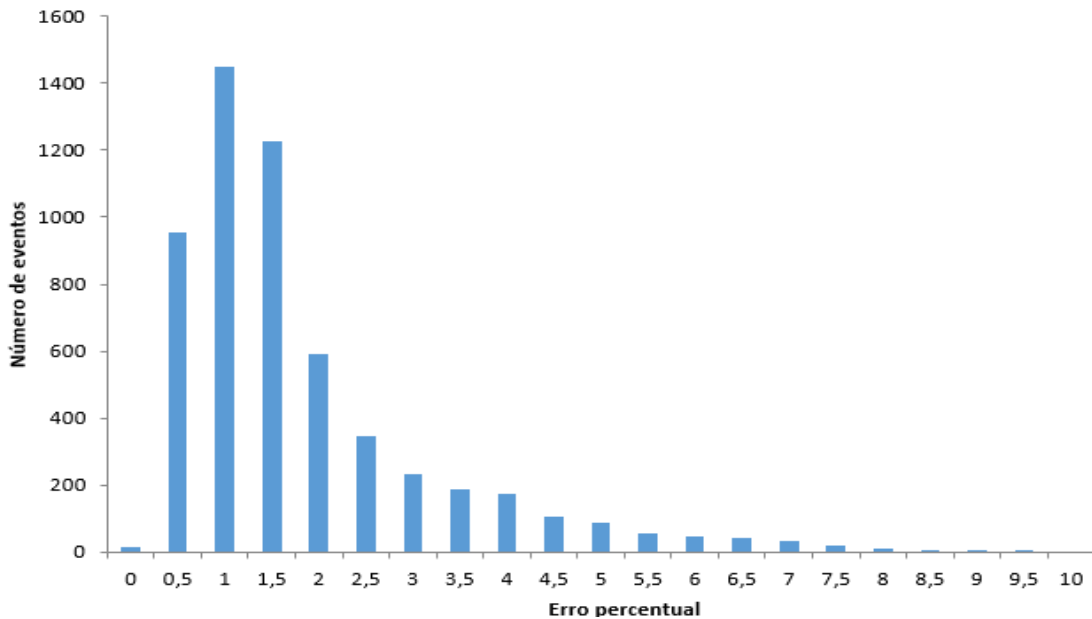


Figura 34 – Histograma de dispersão dos dados de medição de corrente
Fonte: Autoria própria

Na medição de corrente, o histograma mostra que esse foi o sistema que esteve mais disperso percentualmente. Considerando o mesmo limite de 2,5 % de

desvio, assim como no sistema de tensão, nesse caso 81,83 % do número de eventos concentraram-se abaixo desta faixa.

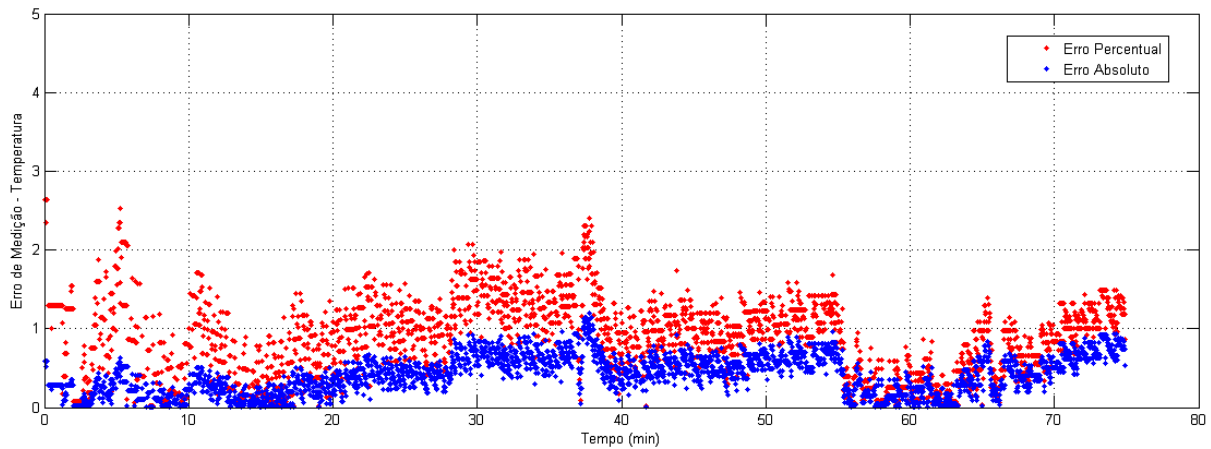


Figura 35 – Gráfico de dispersão do desvio absoluto e percentual na medição de temperatura
Fonte: Autoria própria

Concluindo os gráficos de dispersão, em relação ao desvio absoluto e percentual, têm-se na Figura 35, os valores encontrados para a medição de temperatura. Diante disso observa-se uma oscilação aos 37 minutos, momento em que houve um deslocamento no sensor, alterando por instantes a constante elevação da grandeza. Mesmo nesse período, em específico, os valores percentuais de desvio chegaram a 2,5 %, o que representa aproximadamente 1 °C, considerado pequeno em relação a um motor que pode chegar até 200 °C. O histograma da Figura 36, simplifica o entendimento.

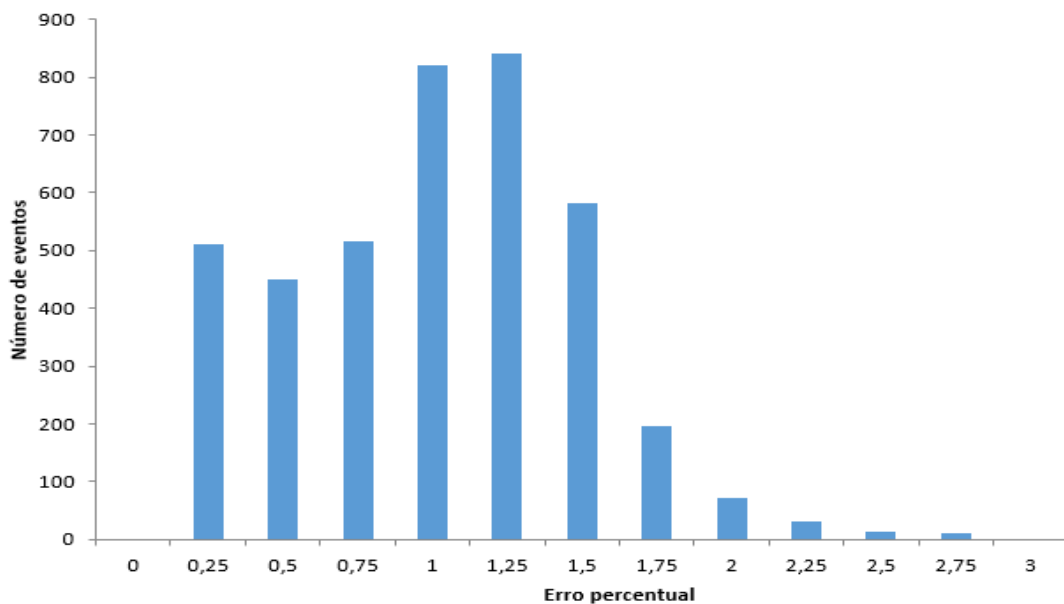


Figura 36 – Histograma de dispersão dos dados de medição de temperatura
Fonte: Autoria própria

Completando a análise percentual das medições e considerando a margem de erro de 2,5 %, como nos sistemas anteriores, têm-se, nesse caso, o sistema de medição com um melhor resultado. Através dos dados coletados e expostos, em forma de histograma, é possível constatar que 99,7 % dos dados coletados na medição de temperatura estão dentro do limiar.

5.3 AMPLITUDE, DESVIO MÉDIO, DESVIO PADRÃO E VARIÂNCIA

Aprofundando um pouco mais em relação aos seus desvios absolutos, outras estratégias são utilizadas para verificar se os dados de uma medição estão dispersos ou não, e quantificar esta dispersão de modo comparativo entre as grandezas. Para isso, as ferramentas empregadas denominam-se amplitude, desvio médio, desvio padrão e variância (VIEIRA, 2011).

Segundo Neto (2004), a amplitude em uma medição de dados pode ser expressa de forma simples, subtraindo o valor máximo do valor mínimo, esta diferença é correspondente a sua variabilidade. Assim, a variação da medição máxima do sistema em relação a sua referência determinará a sua amplitude do erro, conforme equação 13:

$$\textit{Amplitude} = \textit{Máximo} - \textit{Mínimo} \quad (13)$$

O desvio médio é a soma dos desvios absolutos de uma medição. Esta variação indica a média dos desvios em relação a sua referência e é dada pela somatória dos erros absolutos divididos pelo número total de medições, visto na equação 14:

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n |VM_n - VR_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (14)$$

De acordo com Toledo & Ovalle (1985), o desvio padrão é a medida de dispersão de uma quantidade definida de aquisições, uma maneira similar ao desvio médio e que representa a variação existente em torno da referência. É equivalente a

raiz quadrada da soma de cada desvio ao quadrado, dividida pelo número de medições menos um. Ou seja, a raiz quadrada da média da somatória dos desvios elevados ao quadrado, como visto na equação 15:

$$\sigma = \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n-1}} \quad (15)$$

O valor final encontrado para o desvio padrão é diretamente proporcional a discrepância do valor medido em comparação ao valor de referência, isso quer dizer que quanto maior o valor de desvio padrão, maior será sua dispersão.

Outra ferramenta para análise estatística é a variância. Esta medida também permite determinar, de modo divergente, o grau de dispersão das medições, relacionando os dados com o seu desvio padrão elevado ao quadrado, através da equação 16.

$$V = \sigma^2 \quad (16)$$

Por meio da abordagem feita até aqui, em relação a análise estatística realizada, pode-se chegar aos seguintes resultados apresentados na Tabela 1, podendo comparar as respectivas dispersões de cada grandeza:

Tabela 1 – Resultados dos cálculos estatísticos de dispersão da medição

	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	TEMPERATURA (°C)
AMPLITUDE DO ERRO	1,001	0,6705	1,1935
DESVIO MÉDIO DO ERRO	0,2589	0,0316	0,4139
DESVIO PADRÃO	0,2821	0,0379	0,4777
VARIÂNCIA	0,0796	0,0014	0,2282

Fonte: Autoria própria

Esses valores mostram, de forma estatística, que mesmo em alguns momentos de oscilação, nos quais o sistema apresentava desvios de dispersão consideráveis, pela maior parte do tempo de medição a dispersão dos valores medidos em relação ao sistema de referência era reduzido.

Como os cálculos estatísticos de amplitude, desvio médio, desvio padrão e variância, levam em consideração os valores absolutos de dispersão, pode-se ver através da Tabela 1 que o sistema de medição de temperatura apresentou os maiores valores nestes itens e o sistema de medição de corrente apresentou os valores menos dispersos.

6 CONCLUSÃO

Um assunto de constante discussão na atualidade, são maneiras de se usar o maior número possível de elementos no uso diário, que usufruam de sua alimentação por energias renováveis, ou então que se tenha um máximo aproveitamento da energia usada. Pensando nisto, buscou-se aprimorar os veículos elétricos, os quais vem substituindo com maior frequência os carros automotores.

Após o estudo bibliográfico elaborado sobre o projeto proposto, analisou-se então maneiras de se mensurar as grandezas de suma importância relacionadas aos automóveis movidos à eletricidade. Em vista disso, a alternativa escolhida foi desenvolver um sistema embarcado, que efetuando suas medições, torna-se possível o aprimoramento da eficiência energética.

Para que o sistema pudesse entrar em funcionamento, após a análise das características técnicas do protótipo de veículo elétrico desenvolvido pela UTFPR-Pato Branco, vários testes foram realizados para melhor compreensão do funcionamento. Os transdutores foram escolhidos através de especificações técnicas e elétricas do veículo elétrico, definidas pela aplicação no qual se insere o trabalho. Com os sensores definidos, foram desenvolvidos circuitos de condicionamento do sinal de sua saída, o hardware do sistema e gerenciamento dos transdutores.

Como na maioria das aplicações elétricas, buscou-se fazer uma simulação que mostrasse os possíveis resultados. Com os circuitos desenvolvidos e as simulações condizentes, foi desenvolvido o código em linguagem C para o microcontrolador realizar o controle de todo o processamento digital. Após isso, foram realizadas práticas, acarretando em algumas alterações de circuitos.

O circuito responsável pela medição de cada grandeza estava concluído, com isso, foram projetas e implementadas as placas de aquisição de dados. Com o desenvolvimento do sistema finalizado, iniciou-se a etapa de medição, sendo essa comparada à instrumentação de referência e por meio desta relação realizar uma análise estatística da medição.

Destaca-se aqui o caso do circuito de temperatura, o qual em 99,7 % dos dados de medição apresentou erros de no máximo 1,2 °C, que correspondem a 2,5 % de desvio em relação ao instrumento de referência, o que torna este a melhor medição dentre os circuitos implementados. O circuito destinado a medição de tensão

apresentou desvios de até 4,5 % em seu parâmetro que equivalem a aproximadamente 1 V, mas em 98,38 % das suas medições concentrou seus valores medidos inferiores a 2,5 % de discrepância. A medição referente ao circuito de corrente teve erros percentuais de até 10% que consistem em quase 0,1 A de desvio absoluto no ponto identificado, que analisado em valores absolutos é baixo, mesmo assim, a sua dispersão ao valor de referência esteve retida em 81,83 % dos casos no limiar de 2,5 % de erro. Logo, o resultado encontrado por este sistema de medição foi de grande satisfação, visto que suas medições apresentaram desvios de dispersão reduzidos.

É importante frisar que esse trabalho não foi construído apenas para a participação do veículo elétrico, desenvolvido pela UTFPR – Pato Branco, em suas competições. A aquisição de dados se faz muito eficiente para diversos testes, antes do processo de montagem e, também pode ser aplicado a outros veículos que usam eletricidade como forma de alimentação, levando em consideração suas especificações técnicas.

Por ser um projeto relacionado a tecnologia, isto o torna possível de manter-se em constantes aprimoramentos. Algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser a conclusão do sistema de telemetria, a fim de realizar o envio desses dados de medição ao computador sem a utilização de fios, o acréscimo de novos sensores, a procura de medições de outras grandezas. Pode-se também apresentar os dados em tela disponível ao piloto, melhorar aproveitamento da energia usada no veículo e desenvolver sistema capaz de aproveitar a energia dissipada na frenagem, como também em forma de calor.

REFERÊNCIAS

ALLEGRO. **Datasheet: ACS712 Hall Effect-Based Linear Current Sensor.** Massachusetts, EUA.2012

ANJOS, Eduardo G. P. **A Evolução da Eletrônica Embarcada na Indústria Automobilística Brasileira.** Monografia (Especialista em Processos Industriais). Centro Universitário do Instituto de Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2011;

BARASSA, Edgar. **Trajatória Tecnológica do Veículo Elétrico: Atores, Políticas e Esforços Tecnológicos no Brasil.** 2015. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

BARP, Alexandre M. **Metodologia de avaliação e de gerenciamento da incerteza de sistemas de medição de temperatura.** 2000. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BRASIL, INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia. Portaria INMETRO / JCGM número 100 do ano de 2008. **Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição.** Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf. Acesso em 10/04/2017.

BUENO, E. S.; PEIXOTO, P. T., **Os Impactos do Automóvel no Meio Ambiente.** São Paulo, 2012. Disponível em: <www.ecodebate.com.br>Acesso em 28 fev. 2017

CAMPILHO, Aurélio. **Instrumentação electrónica: métodos e técnicas de medição.** FEUP edições, 2000.

DIAS, Carlos M. T. **Projeto e desenvolvimento de um automóvel híbrido.** 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

DIAS, Jullierme E. A. **Eletrônica, Instrumentação e Telemetria do Veículo UFVBaja.** 2010. 50f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

EHSANI, M.; GAO, Y.; EMADI, A. **Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles.** CRC Press, 2010.

FILHO, Solon de M. **Fundamentos de Medidas Elétricas**, 2ª edição. Editora Guanabara Dois S.A., 1981.

FONTAÍNHAS, José J. C. **Avaliação da viabilidade econômica da aquisição de um veículo elétrico em Portugal**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade do Minho, Braga, 2013.

FLORIDO, Ivan R. **Rede de Sensores sem fio em Ambientes Veiculares baseada no Padrão Zigbee**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

FRANÇA, Fernando A. **Instrumentação e Medidas: grandezas mecânicas**, UNICAMP. Campinas, 2007.

FREITAS, Daniel Z. **Análise de Eficiência e Controle de um Sistema Integrado Roda-Motor Elétrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

GADDY, E. Photovoltaics for hybrid automobiles. In: **Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on**. IEEE, 2003.

HAYT JR, William H.; KEMMERLY, Jack E.; DURBIN, Steven M. **Análise de Circuitos em Engenharia**, 7ª edição. McGraw Hill Brasil, 2008.

ICEL, Manaus. **Manual de Instruções do Multímetro Digital modelo MD-6510**. Manaus, 2008. Disponível em: <www.icel-manaus.com.br/manual/MD-6510%20Manual%20out%202008.pdf>. Acesso em 10 Jun. 2017.

IMBASCIATI, Henrique. **Estudo descritivo do sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos**. 2012. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, 2012.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Veículos Elétricos – Sobre Veículos Elétricos**. 2017. Disponível em: <http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh>. Acesso em: 10 Jun. 2017.

INTEL, Intel Corporation. **Intel Timeline: A History of Innovation**. 2003. Disponível em: <http://www.intel.com.br/content/www/br/pt/history/historic-timeline.html>. Acesso em: 12/04/2017.

IQA, Instituto de Qualidade Automotiva. **Manual de referência “Análise dos Sistemas de Medição**. 2ª edição. São Paulo, 2004.

LINN, Adan Felipe B.; FERNANDES, Juliano T.; TURONES, Leonardo C.; FERRO, Rodrigo R. **Estufa Inteligente: Sustentabilidade Automatizada**. Goiânia, 2012.

LOPES, Ricardo Dantas. **Previsão de Autopeças: Estudo de caso em uma Concessionária de Veículos**. 2002. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LUCENA, Samuel E. **A survey on electric and hybrid electric vehicle technology**. In: **Electric Vehicles – The Benefits and Barriers**. InTech, 2011.

MACHADO, Fernando Luiz Bovaroli. **Desenvolvimento de padrões de verificação para medições de tensão e corrente aplicadas ao controle da operação de sistemas de transmissão de energia elétrica**. Dissertação, Florianópolis, 2009.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados: Uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. São Paulo: Novatec, 2005. Disponível em: <http://www.martinsfontespaulista.com.br/anexos/produtos/capitulos/203289.pdf>. Acesso em: 12/04/2017.

MARWEDEL, P. **Embedded System Design**, 1ª edição. Springer, 2006.

MELO, Rodnei R. de. **Conversor CC-CC Bidirecional Intercalado aplicado a supercapacitores para Veículos Elétricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MENDES, H.; SANTOS, P. **Redes de Comunicação Automotivas**. 2007. Instituto Superior de Engenharia de Porto, Portugal, 2007

MENTZER, John T. & MOON, Mark A. **Sales Forecasting Management: A Demand Management Approach**, 2ª edição, SAGE Publications. Londres, 2005.

MINIPA, Electronics. **Manual de Instruções**, 2012. Disponível em: <http://www.minipa.com.br/Content/Manuais/ET-3200A-1103-BR.pdf>. Acesso em: 5 Mar. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Soluções: O que é data logging**. 2007. Disponível em: http://www.ni.com/data_logger/pt/whatis.htm. Acesso em: 16 Jun. 2017.

NETO, Paulo Vieira. **Estatística Descritiva: Conceitos Básicos**. São Paulo, 2004.

NETO, Alcides C. M. **Telemetria Automotiva via Internet Móvel**. 2009. 112 f. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

NETO, Arthur K. **Cenário Brasileiro para os Veículos Elétricos**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2013.

PAPAIIOANNOU, Lannis Nicolaos. **Estudo da Eletrônica Embarcada Automotiva e sua situação atual no Brasil**. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores MSP430: Teoria e Prática**. 1ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2005.

PERTENCE JR, Antonio. **Amplificadores operacionais e filtros ativos: eletrônica analógica**. 8ª edição. Bookman, Porto Alegre, 2015.

POGGETTO, Gustavo D. **Crterios para seleção da arquitetura elétrica veicular em mercados emergentes**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

RAMSDEN, Edward. **Hall-effect sensors: theory and application**. Newnes, 2011.

REZENDE, Sandro S. **Sistema de Medição e Controle de Temperatura aplicado em um túnel de vento**. 2007. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RIBEIRO, Eduardo Parente. **Processamento Digital de Sinais**. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <<http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/edu/anterior/pds99/trab4/>>. Acesso em: 5 Mar. 2017

RODRIGUES, Márcio do Carmo B. P. **Integração de filtro ativo de Potência Monofásico e Bifásico ao Sistema de Propulsão de um Veículo Elétrico**. 2014. Tese de Doutorado (em Sistemas Eletrônicos) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

SANTOS, Guilherme V. **Veículos Elétricos Híbridos: Gestão da Energia de Fontes Embarcadas utilizando o Controle Flatness**. 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

SANTOS, Roberto Carlos dos. **Utilização de Redes Neurais Artificiais para determinar o tempo de respostas de Sensores de Temperatura do tipo RTD**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Reatores) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares autarquia associada à USP, São Paulo, 2010.

SILVA, Adelino, **Redes de comunicações no automóvel** - Sistemas Automóveis, 2009. Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Disponível em: < http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202008-09/SIAUT2009_ComunicacoesAutomovel.pdf>. Acesso em 14 Mar. 2017.

SILVA, João Paulo N. **Avaliação de impactos da inserção dos Veículos Elétricos nos Sistemas de Distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

THERMOCOUPLE, Instruments Limited. **PT100 Resistance Table**, 1999. Disponível em: < <http://www.micropik.com/PDF/pt100.pdf>>. Acesso em: 5 Mar. 2017

TOLEDO, Geraldo L. & OVALLE, Ivo I. **Estatística Básica**, 2ª edição, Atlas. São Paulo, 1985.

VIANA, Ulisses Barcelos. **Instrumentação Básica – Pressão e Nível**. Departamento Regional do Espírito Santo, SENAI, Espírito Santo, 1999.

VIEIRA, Sonia, **Introdução à bioestatística**. 4ª edição. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2011.