

Nestor Ezequiel de Oliveira

Sistema Georeferenciado de Aquisição de Dados para Caracterização de Motos Elétricas

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira

Campinas, SP
2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

OL41s Oliveira, Nestor Ezequiel de
Sistema georeferenciado de aquisição de dados para
caracterização de motos elétricas / Nestor Ezequiel de
Oliveira. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientador: Elnatan Chagas Ferreira.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

1. Veículos Elétricos. 2. Motocicletas. 3. Aquisição
de dados. 4. Sensoriamento remoto. 5. Baterias
elétricas. I. Ferreira, Elnatan Chagas. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica
e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Data acquisition system georeferency for eletrics motorcycles
characterization

Palavras-chave em Inglês: Electric vehicles, Motorcycle, Data aquisition, Remote
sensing, Electric batteries

Área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora: Antônio Heronaldo de Souza , José Antônio Siqueira Dias

Data da defesa: 14/07/2009

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Nestor Ezequiel de Oliveira

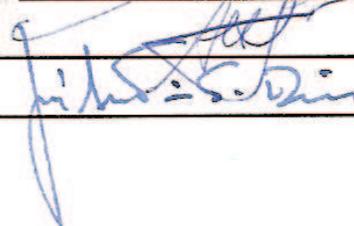
Data da Defesa: 14 de julho de 2009

Título da Tese: "Sistema Georeferenciado de Aquisição de Dados para Caracterização de Motos Elétricas"

Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira (Presidente):



Prof. Dr. Antonio Heronaldo de Sousa:



Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias:



Resumo

Aproximadamente 40% da energia total produzida no mundo é consumida no setor de transporte, tendo criado uma grande demanda para estudos de fontes alternativas de energia para os veículos. Este trabalho acadêmico tem como por objetivo apresentar um estudo desenvolvido com veículos elétricos (VEs), com o desenvolvimento de projeto de circuitos eletrônicos de aquisição de dados e condicionamento de sinais das grandezas elétricas e mecânicas, tais como tensão da bateria, corrente elétrica consumida, carga da bateria, temperatura, RPM do motor, velocidade da moto elétrica, sendo que todos os dados são georeferenciados. Estes dados fornecem informações importantes sobre as características e o desempenho das motos elétricas estudadas, além de revelar informações que podem demonstrar a viabilidade de se utilizar este veículo em aplicações comerciais. São apresentados os resultados obtidos com o monitoramento destes VEs durante 12 meses.

Palavras-chave: Veículos elétricos, Motocicletas, Aquisição de dados, Sensoriamento remoto, Baterias elétricas.

Abstract

Approximately 40% of the total energy produced in the world is consumed in the transport sector, having created a great demand for studies of alternative sources of energy for the vehicles. This academic work has as for objective to present a study developed with electric motorcycles (VEs), with the development of project of electronic circuits of acquisition of data and conditioning of signs of the electric and mechanical greatness, such as tension of the battery, consumed electric current, load of the battery, temperature, RPM of the motor, speed of the electric moto, and everybody the data are georeferencing. These data supply important information on the characteristics and the acting of the studied electric motorcycles, besides revealing information that can demonstrate the viability of using this vehicle in commercial applications. The results obtained with the monitoration of these (VEs) for 12 months are presented.

Keywords: Electric vehicles, Motorcycle, Data aquisition, Remote sensing, Electric Batteries.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira, pelo voto de confiança e apoio no decorrer dos trabalhos de pesquisa e pela atenção disposta à mim e aos meus trabalhos desenvolvidos na moto elétrica, compartilhando e dedicando seu precioso conhecimento e experiência.

Ao Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias pela confiança, pelo apoio, e compartilhamento de seu precioso conhecimento e da dedicação de seu tempo durante os trabalhos desenvolvidos na moto elétrica.

À AES Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A, pelo financiamento deste trabalho através do Contrato Eletropaulo/Unicamp No. 4200002665, referente ao projeto ANEEL 0390-047-2006, ciclo 2006/2007 intitulado "Medidores inteligentes de energia para carregadores de baterias de veículos elétricos"

Aos colegas e alunos do DEMIC/FEEC que me incentivaram nos trabalhos desenvolvidos, e que me honraram com sua amizade, trocando idéias e informações sobre materiais e fontes de pesquisas.

À UNICAMP, ao Diretor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, aos coordenadores do curso de Pós Graduação, aos Professores e funcionários, pela excelência e qualidade do curso de Pós Graduação e especialmente ao Departamento de Microeletrônica pela oportunidade, pela infra-estrutura e apoio dado para a realização deste trabalho.

À todos os estagiários e funcionários do SATE/FEEC (Seção de Apoio Técnico ao Ensino) pelo apoio e incentivo ao meu mestrado, em especial aos estagiários Gabriel e William que me apoiaram em alguns trabalhos desenvolvidos para a moto elétrica.

Aos membros da Banca Examinadora pela atenção disposta no meu trabalho de dissertação.

Agradeço do fundo do meu coração à minha esposa Veviane por seu apoio nestes anos de pesquisa ao meu lado com muita paciência. "Escrever é uma tarefa solitária, porque precisamos ficar isolados com nossos pensamentos durante muitas horas". Agradeço a ela por garantir-me o tempo para a leitura, a reflexão e a escrita, sem fazer-me sentir que eu a estava negligenciando muito.

Aos meus filhos pela compreensão à minha ausência junto à eles no lazer, devido a minha dedicação nas pesquisas.

Aos meus pais pela educação dada ao longo da vida pois acredito que para este trabalho ter sido concluído, em alguns momentos tive que refletir conceitos sobre seus ensinamentos que foram passados no meu crescimento para que eu não desistisse.

À Deus pelo dom da vida e dádiva da inteligência para aplicarmos nas nossas transformações.

*Dedico este trabalho à minha esposa Veviane, meus filhos Vinícius(in memoriam),
Vitor e Gabriel e também a todos que sentirem a verdadeira vontade de lê-lo
buscando encontrar uma aplicação para si ou para o mundo.*

Sumário

Lista de Figuras	x
Glossário	xii
1 Introdução	1
1.1 Veículos Elétricos	1
1.1.1 Conceitos Fundamentais sobre Veículos Elétricos	3
1.1.2 Aplicação de Veículos Elétricos	4
1.1.3 História dos Veículos Elétricos	6
1.1.4 Moto Elétrica no Mundo	7
1.2 Objetivo deste trabalho	8
1.3 Estrutura da Dissertação	8
2 O sistema de Aquisição de dados e monitoramento	10
2.1 Introdução	10
2.2 Diagrama de Blocos do Sistema Total	10
2.3 Necessidade da placa de condicionamento de sinais	11
2.4 Armazenamento dos dados coletados	12
2.5 Aquisição de Dados em Laboratório com Labview	14
2.6 Resumo das Característica Técnicas da ME.	17
3 Projeto da Placa de Aquisição de Dados e Condicionamento de Sinais Analógicos e do Sistema Testador de Bateria da ME.	20
3.1 Introdução	20
3.2 Conversores A/D do Atmel	20
3.3 Medição da corrente elétrica consumida pela ME	21
3.3.1 Sensor de Corrente	22
3.3.2 Funcionamento	23
3.3.3 Implementação do circuito de medição de corrente elétrica consumida da bateria na ME	24
3.3.4 Circuito Amplificador de VSH	24
3.3.5 Projeto do microcontrolador	28
3.4 Medição da Tensão da Bateria	29
3.5 Medição do Pico da Corrente do motor	29

3.6	Medição da Velocidade da Moto	31
3.7	Medição da Temperatura	34
3.8	Apresentação do sistema completo da PAD/CSA conectada ao CB e depois conectada com a placa ATmega/PC/Labview.	35
3.9	Apresentação da interação da PAD/CSA com o CB.	35
3.10	Apresentação da interação da PAD/CSA com a placa ATmega que está interligada ao PC com software Labview para apresentar os dados em tempo real.	37
3.11	Projeto do Sistema Testador de Bateria da ME em Laboratório.	38
3.11.1	O Programa de Gerenciamento do Sistema Testador de Bateria Desenvolvido em Labview.	39
3.11.2	Circuito eletrônico e Equipamentos utilizados no Projeto do Sistema Testador de Bateria	41
4	Resultados Experimentais	44
4.1	Resultados dos parâmetros medidos durante projeto e calibração da PAD/CSA. . . .	44
4.1.1	Sensor de efeito Hall	44
4.1.2	Tensão da Bateria	45
4.1.3	Circuito detector de pico	45
4.1.4	Velocidade da ME	45
4.2	Resultados dos parâmetros medidos da ME em laboratório com a PAD/CSA conectada à placa microcontrolada e ao programa Labview.	48
4.3	Resultados dos parâmetros medidos durante a operação do conjunto de MEs, com monitoração, aquisição dos dados, análise de trajetos e avaliação dos parâmetros medidos	50
4.3.1	Resultados dos parâmetros medidos na Unicamp	50
4.3.2	Resultados dos parâmetros medidos em SP	53
4.4	Resultados do teste feito na bateria nova da ME em laboratório	54
5	Conclusão	62
	Referências bibliográficas	64

Lista de Figuras

1.1	Veículo com mci e alguns poluentes que emite.	2
1.2	Motos elétricas - Scooters.	3
1.3	Prospécto de veículos elétricos do futuro - Ano 2043.	3
1.4	Propaganda de carro elétrico - Ano 1916.	6
2.1	Diagrama de blocos Sistema Total ME.	11
2.2	Layout PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 1.0.	13
2.3	PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 1.0.	13
2.4	Layout PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 2.0.	14
2.5	PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 2.0.	14
2.6	PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 3.0.	15
2.7	Computador de Bordo (CB) da ME - Scooters.	15
2.8	Placa microcontrolada de Aquisição em Labview para ME - Scooters.	15
2.9	Layout Placa microcontrolada de Aquisição em Labview da ME - Scooters.	16
2.10	Imagem do Programa Labview.	16
2.11	Diagrama de blocos simplificado das partes das MEs modelo S1000 - Scooters.	17
2.12	Detalhes da ME S1000- Scooters.	18
3.1	Diagrama em bloco da PAD/CSA.	21
3.2	Encapsulamento do sensor de efeito hall ACS752SCA-050 - Allegro.	22
3.3	Diagrama de blocos dos circuitos internos do sensor ACS752SCA-050.	23
3.4	Linearidade do Sensor de efeito hall - VSH.	24
3.5	Circuito de ligação do sensor ACS752SCA-050 na PAD/CSA da ME.	25
3.6	Circuito amplificador do sensor ACS752SCA-050 na PAD/CSA.	26
3.7	Diagrama de blocos do estágio amplificador do sensor ACS752SCA-050 da PAD/CSA.	26
3.8	Gráfico calculado da tensão de saída do circuito amplificador em função da corrente primária do sensor de corrente ACS752SCA-050 na PAD/CSA.	28
3.9	Diagrama esquemático que contém o divisor de tensão com filtro do circuito de medição de tensão de bateria da PAD/CSA, na ME.	29
3.10	Diagrama esquemático do circuito de detecção de eventos de pico da corrente elétrica da PAD/CSA, na ME.	30
3.11	Diagrama esquemático do circuito de medição de velocidade da ME na PAD/CSA.	32
3.12	Diagrama esquemático do circuito de medição de temperatura da PAD/CSA na ME.	35
3.13	Diagrama esquemático dos circuitos eletrônicos da PAD/CSA na ME.	36

3.14	Dados apresentados no LCD do CB.	36
3.15	Firmware gravado no microcontrolador da placa ATmega.	37
3.16	Tela do programa em Labview que faz a aquisição de dados medidos na ME em tempo real.	38
3.17	Diagrama em blocos do STB.	39
3.18	Diagrama de funcionamento do programa sistema testador de bateria.	40
3.19	Tela do Programa Testador de Bateria - Labview.	42
3.20	Diagrama esquemático dos circuitos eletrônicos do STB.	43
3.21	Foto do STB - Todos componentes do sistema juntos.	43
4.1	Gráfico da caracterização de um sensor ACS752SCA-050 em Laboratório.	45
4.2	Gráfico da caracterização da tensão de referência da bateria em Laboratório.	46
4.3	Gráfico da saída do circuito detector de picocorrente medido com osciloscópio em Laboratório.	46
4.4	Gráfico da caracterização do medidor de velocidade da PAD/CSA.	47
4.5	Resultado medido para o sensor de RPM instalado nas motos, para velocidades de (a) 15,58 km/h ; (b) 41,84 km/h.	49
4.6	Gráfico comparativo da velocidade da ME, entre medidas feitas pela PAD/CSA e GPS.	49
4.7	Imagem do programa desenvolvido em Labview mostrando os valores medidos da ME, através da PAD/CSA e placa microcontrolada.	50
4.8	Gráfico mostrando o percurso de um dos testes executado dentro do campus da Unicamp.	51
4.9	Gráfico mostrando a velocidade e a corrente nos motores da moto durante o percurso.	52
4.10	Gráfico mostrando um detalhe da velocidade e da corrente nos motores, para um trecho em aclave e declive acentuado no percurso realizado.	53
4.11	Gráfico mostrando a variação da altitude do solo no trecho onde a corrente no motor era a máxima e a velocidade era praticamente zero.	54
4.12	Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante o teste realizado.	55
4.13	Gráfico da distribuição da corrente elétrica na ME, por faixa de operação.	55
4.14	Gráfico da distribuição da velocidade da ME, por faixa de operação.	56
4.15	Percurso ME feito na Unicamp, plotado no google earth.	56
4.16	Percurso ME feito em SP, plotado no google earth.	57
4.17	Gráficos gerados automaticamente com os dados coletados da ME.	58
4.18	Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante os primeiros ciclos do teste realizado com a bateria nova.	59
4.19	Gráfico mostrando detalhe da variação da tensão na bateria durante um dos primeiros ciclos do teste realizado com a bateria nova.	59
4.20	Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante o último ciclo do teste realizado com a bateria nova.	60
4.21	Gráfico mostrando detalhe da variação da tensão na bateria descarregando durante o último ciclo do teste realizado com a bateria.	60
4.22	Gráfico mostrando tensão da bateria no início e final do teste da bateria.	61

Glossário

ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico

CB - Computador de Bordo

GPS - Global Positioning System

HARDWARE - Conjunto de componentes físicos da placa de circuito impresso - eletrônica

HD - Hard Disk - Disco Rígido

INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética

MCI - Motores de Combustão Interna

ME - Moto Elétrica

MEs - Motos Elétricas

PAD/CSA - Placa de Aquisição de Dados e Condicionamento de Sinais Analógicos

PCI - Placa de Circuito Impresso

PENDRIVE - Dispositivo de armazenamento de dados constituído por uma memória flash tendo aparência semelhante à de um chaveiro e uma ligação USB tipo A permitindo a sua conexão a uma porta USB de um computador.

RPM - Rotação Por Minuto

STB - Sistema Testador de Bateria

TB - Testador de Bateria

VE - Veículo Elétrico

VEB - Veículo Elétrico a Bateria

VECC - Veículo Elétrico de Célula a Combustível

VEH - Veículo Elétrico Híbrido

VES - Veículo Elétrico Solar

VETA - Veículo Elétrico de Trajeto Aleatório

VETF - Veículo Elétrico de Trajeto Fixo

VOUT - Tensão de Saída do Amplificador - A tensão de saída do sensor hall (VSH) é amplificada pelo circuito amplificador e a tensão de saída deste amplificador é chamada de Vout.

VSH - Tensão de Saída do Sensor Hall.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Veículos Elétricos

Existem relatos que a primeira demonstração de veículo elétrico (VE) (*Electric Vehicles (EV)*) ocorreu por volta de 1830, e a comercialização de VEs teve seu auge no final do século 19.

Sabe-se que aproximadamente 40% do consumo global de energia são gastos pelo setor de transporte, uma orientação neste sentido é algo de grande interesse ambiental, sem dúvida. As tecnologias em VE já são dominadas ou são passíveis de serem dominadas, estudos revelam que em dez anos vamos estar vivendo uma profunda alteração na matriz de utilização de combustíveis para efeito de transporte.

O veículo elétrico por fora é igual um carro comum a combustão, mas por dentro ele é bem diferente. Ele não tem tanque de combustível e não tem escapamento. O motor é alimentado por baterias, que seria o tanque e o combustível e eles não emitem poluentes. As motos elétricas (ME) seguem o mesmo padrão, o motor é alimentado por baterias, não emitem poluentes e produzem pouco ruído. A cada instante vem conquistando mais espaço.

Vários órgãos governamentais e não governamentais, tais como o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) atua no sentido de valorizar e promover a difusão do emprego da energia elétrica no acionamento de veículos de transporte (ônibus, carros e motos) por serem muito mais eficientes que os convencionais acionados exclusivamente por motores de combustão interna (mci). Como há dezenas de milhões de veículos convencionais circulando no país, o VE pode reduzir consideravelmente desperdícios evitáveis de combustíveis sobretudo de origem fóssil e evitar poluição através de emissão de gases tóxicos, conforme descrito na fig.(1.1) e conseqüentemente a contribuir com o aquecimento global e efeito estufa que ocorre nos grandes centros urbanos.

A seguir tem-se descrito alguns dos impactos ocasionados pelo petróleo:

- Monóxido de Carbono (CO): asfixiante e intoxicante
- Hidrocarbonetos (HC): cancerígeno e precursor de oxidantes fotoquímicos
- Aldeídos (CHO):cancerígeno e precursor de oxidantes fotoquímicos
- Óxidos de Nitrogênio (NOx):intoxicante e precursor de oxidantes fotoquímicos
- Material Particulado (MP):intoxicante e cancerígeno

- Dióxido de Carbono (CO₂): indutor de aquecimento atmosférico (efeito estufa)

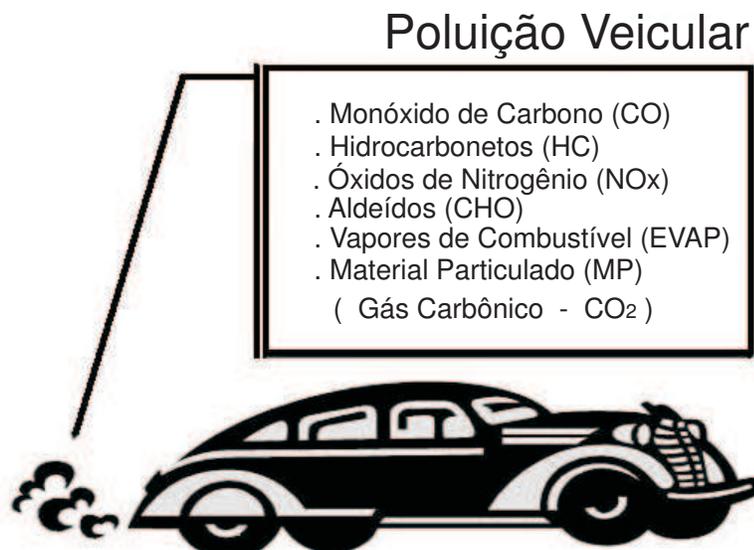


Fig. 1.1: Veículo com mci e alguns poluentes que emite.

No início do século XX, circulavam muitos VEs a bateria mas o aperfeiçoamento dos m.c.i. tornaram este o acionador padrão. A pequena capacidade de armazenamento das baterias, seu peso e o tempo elevado para carga limitaram o uso dos VEs ao atendimento de necessidades específicas como o transporte em áreas restritas.

Na última década, porém, observou-se um renascimento dos VEs estimulado inicialmente por incentivos governamentais e normas que restringem emissões poluentes. Embora o número de VEs ainda seja pequeno, o estágio que se considera experimental já está quase concluído e as vendas crescem pelas vantagens apresentadas: alta eficiência energética que proporciona custos operacionais inferiores aos convencionais, não poluentes e elevado conforto, isto é, baixo ruído e ausência de vibrações.

Na China há 1 bilhão e trezentos milhões de pessoas circulando para lá e para cá diariamente. Os chineses estão substituindo os carros por scooters e bicicletas elétricas, para ir ao trabalho e aos grandes centros urbanos, devido a grande quantidade de poluentes emitidos pelos mci.

Há previsão de cientistas que em meados de 2040, o veículo de transporte pessoal será um VE, poderá dispensar o motorista e será movido a bateria. O veículo vai se orientar pelo GPS (Global Positioning System) ou seja Sistema de Posicionamento Global e ainda obedecer as ordens das placas de trânsito e dos sinais, ele será seguro, agradável e silencioso. Acidentes serão coisas do passado. Ele trafegará por rodovias onde estarão conectados uns com os outros como se fosse uma internet da rodovia, não precisaria de motorista, pois será todo orientado por gps e processamento inteligente e conversaria com os outros carros para fazer na hora certa a melhor ultrapassagem sem ocorrer qualquer acidente. O dono do veículo será o tranquilo passageiro de um carro robô. Poderá falar ao

telefone, navegar na internet e assistir televisão enquanto o veículo se orienta e o conduz até o seu destino.

Na fig.(1.2), tem-se um uma foto das scooters estudadas no projeto.



Fig. 1.2: Motos elétricas - Scooters.

Na fig.(1.3), tem-se imagens de projetos futuros de Ve's.



Fig. 1.3: Prospécto de veículos elétricos do futuro - Ano 2043.

1.1.1 Conceitos Fundamentais sobre Veículos Elétricos

Veículos elétricos (VE) são aqueles que utilizam propulsão por meio de motores elétricos para transportar ou conduzir pessoas, objetos ou uma carga específica. Ele é um conjunto de sistema composto por um componente primário de energia, uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de acionamento e controle de velocidade ou torque.

Os veículos elétricos fazem uso de bancos de baterias como fonte primária de energia. A energia armazenada nas baterias em forma química é convertida em energia elétrica, que por sua vez é transportada até os motores que farão sua conversão em energia mecânica, proporcionado que o veículo se locomova.

Existem vários tipos de fontes de energia a bordo do veículo elétrico. De acordo com a forma em que a energia elétrica é disponibilizada a bordo nos VE's, eles podem ser classificados da seguinte forma[1]:

VE a bateria - VEB - a energia é fornecida por um conjunto de baterias que são recarregadas na rede elétrica. As motos elétricas (MEs) estudadas, estão enquadradas neste segmento.

VE ligado a rede ou troleibus - a energia é fornecida pela rede elétrica. Devido ao alto custo de instalação e manutenção das redes de alimentação de energia, este modelo tem sido deixado de lado.

VE híbrido - VEH - a energia é fornecida por um gerador a bordo que é acionado por um m.c.i.. Estes veículos também usam sistemas de bateria e capacitores para acumular energia elétrica, permitindo que o m.c.i. só opere nas condições ótimas ou fique desligado. Destacam-se dois tipos básicos de VEH: O VEH "serial" onde as rodas são acionadas apenas pelo(s) motor(es) elétrico(s) e o VEH "paralelo" onde as rodas podem ser acionadas pelo m.c.i. em paralelo com o motor elétrico.

VE de célula a combustível - VECC é suprido por células a combustível, equipamento eletroquímico que transforma a energia do hidrogênio diretamente em eletricidade. Esta tecnologia é objeto de muita pesquisa na atualidade e diversos fabricantes apostam nela como o futuro dos veículos. O hidrogênio será distribuído diretamente ou produzido a partir do metano (Gás Natural), metanol ou etanol. O VECC também usa a bordo importantes sistemas de acumulação de energia, sejam baterias ou capacitores.

VE Solar - VES - a energia é fornecida por placas fóto-voltáicas (FV). Restrito ao ambiente das universidades que trabalham com as FV, e é pouco provável que o VES venha a se transformar em um veículo de uso prático pelas restrições de tamanho dos veículos que limitam a dimensão dos painéis e conseqüentemente sua potência.

1.1.2 Aplicação de Veículos Elétricos

Um VE pode ter aplicação em diversas áreas e pode ser classificado e enquadrado em diversos grupos distintos. Considera-se dois grandes grupos de VE denominados de Veículos Elétricos de Trajeto Fixo (VETF) e Veículos Elétricos de Trajeto Aleatório (VETA). Estes dois grandes grupos englobam várias áreas tais como científicos, militares, industriais, coletivos, domésticos e rurais[2].

O que pode determinar em qual grupo o veículo elétrico está classificado é o seu sistema de energia. Por exemplo, um metrô deverá seguir uma rota pré-determinada pelo trilho, assim ele é classificado como VETF, e por exemplo o ônibus, é classificado como VETA, pois seu trajeto é aleatório.

Na tabela (1.1), são apresentados estes grupos e suas respectivas áreas e aplicações.

Devido a grande diversidade de sistemas de VEs e o objetivo deste trabalho acadêmico é de desenvolver sistemas para realizar testes e caracterizar o funcionamento de motos elétricas, mais especificamente scooters elétricas, no desenvolver deste trabalho quando aparecer a sigla VE, refiro à aplicação em carros e motos elétricos.

VEÍCULOS ELÉTRICOS	TRAJETOS FIXOS	TRAJETOS ALEATÓRIOS
CIENTÍFICOS	Robôs	Submarinos Robôs
INDUSTRIAIS	Esteiras Pontes Rolantes Elevadores Guinchos Robôs	Empilhadeiras Carros Utilitários Robôs
COLETIVOS	Trólebus Metrô Trens Esteiras Escadas Rolantes Bondes	Ônibus Veículos Utilitários
MILITARES		Submarinos, robôs Carros, Caminhões Motocicletas
DOMÉSTICOS	Elevadores	Robôs Carros Motocicletas Cadeiras de rodas Patinetes
RURAIS	Tratores Esteiras	Tratores Transporte de cargas

Tab. 1.1: Grupos de VEs e suas respectivas áreas e aplicações.

1.1.3 História dos Veículos Elétricos

No século XVIII iniciou-se a utilização de motor a vapor para movimentar um veículo. Foi em 1769 que Nicolas Joseph Cugnot, na França, instalou um motor a vapor em um veículo chamado "fardier" que possuía três rodas. A primeira demonstração de VE foi feita entre 1832 e 1839 por Robert Anderson que construiu a primeira carruagem elétrica movida por uma bateria e um motor elétrico[3, 4]. Quase um século tinha se passado após a primeira demonstração de utilização de um motor a vapor para movimentar um veículo, em 1885, Karl Benz e Gottlieb Daimler, na Alemanha, inventaram o automóvel movido a mci.

As primeiras indústrias a produzir carros em série estavam manufaturando carros elétricos.

Em 1900 foram produzidos 1575 automóveis elétricos contra apenas 936 carros a gasolina[5]. Nesta época diziam-se que a eletricidade era ideal para veículos, pois elimina os dispositivos complicados associados aos motores movidos a gasolina, vapor e ar comprimido, evitando o ruído, a vibração e calor associados. Também a eletricidade preenchia melhor os requisitos de um sistema de tração do que as máquinas de vapor ou mesmo os motores a explosão.

Por volta do ano 1900, a grande maioria dos carros produzidos nos Estados Unidos eram elétricos. Na fig.(1.4), pode-se observar uma propaganda, feita na época, de um VE construído em 1916.



Fig. 1.4: Propaganda de carro elétrico - Ano 1916.

Do ponto de vista histórico, os VE automotivos competiam com os veículos de m.c.i no final do século XIX. Os anos 1899 e 1900 foram o auge dos elétricos nos Estados Unidos e Europa. Devido à inexistência de combustão e por serem muito silenciosos e limpos, os veículos elétricos eram os preferidos pelas classes mais altas, pois ofereciam o que não se encontrava nos carros a combustão e a vapor da época[6].

Por volta de 1920, tem-se o início do declínio dos veículos elétricos, devido à descoberta de petróleo no Texas, e a utilização de novas técnicas de destilação do petróleo, tendo como efeito uma queda no preço final da gasolina. Os carros a gasolina começavam a ficar mais potentes, silenciosos, apresentarem melhor autonomia. O elevado custo e limitada autonomia de percurso favoreceram a prevalência do carro a gasolina no século XX em detrimento do carro movido a bateria[7].

1.1.4 Moto Elétrica no Mundo

No mundo, o competitivo mercado de motocicleta vem crescendo a cada momento. Na China a bicicleta à pedal está sendo substituída pela elétrica pelo equivalente à mil reais. Motocicletas e scooters há 10 anos estão ganhando versões elétricas e estão sendo comercializadas com grande aceitação.

A China se comprometeu a diminuir a emissão de poluentes em 10 por cento entre os anos de 2006 e 2010, mas cresce o número de carros nas ruas a cada dia e a idéia é de incentivar a utilização de VE's em vez de veículos com mci.

O modelo estudado é scooter. Scooter é uma categoria de motocicleta que possui um "designer" estrutural com apoio para os pés, onde o condutor fica sentado sem nenhum contato com o motor. As rodas são menores que as das motocicletas, variando entre 35-50 cm de diâmetro. Por serem normalmente menos velozes, possuem o centro de gravidade mais próximo do solo, e "designer" projetado especialmente para proteção do condutor, são mais seguras e mais fáceis de operar. No caso de scooters elétricas observa-se também uma maior facilidade em função de seu peso ser menor. O código de trânsito brasileiro classifica as scooters como motoneta. São bastante populares na Europa, Índia, China, Japão e Taiwan devido ao tamanho pequeno e baixo custo.

Ao circular, as MEs não emitem poluentes e com base em estatísticas, por exemplo na cidade de São Paulo sabemos que as motos de 125 cilindradas poluem 30 vezes mais que veículos leves à gasolina, pois não estão equipadas com catalisadores, como é o caso dos automóveis com mci; como elas circulam em média quatro vezes mais que os carros, a proporção vai a 120 vezes. Em São Paulo, há aproximadamente 1 milhão de motos circulando, assim se substituíssemos 10 por cento da frota delas por MEs, equivaleria a retiradas de todos os veículos leves de circulação na Capital[8].

Um dos riscos que os ambientalistas apontam caso haja uma explosão de vendas e utilização descontrolada de veículos elétricos, é dos riscos de vazamentos de sumo das baterias de chumbo ácido, pois se a reciclagem das baterias não for bem feita poderá contaminar o meio ambiente.

Soluções neste sentido vem sendo estudados, como é o caso de substituição de baterias de chumbo-ácido por lítio-íon, onde o risco de um vazamento de sumo é menor. Outras vantagens na substituição são que as baterias de íon lítio são mais leves, mais potentes, mais resistentes, tem uma vida útil maior e o tempo de recarga é menor. Por enquanto o custo desta troca está alto, mas a tendência é diminuir.

Veículos elétricos também podem produzir efeitos consideráveis no sistema elétrico interligado do Brasil. O INEE tem trabalhado este tema no âmbito da geração distribuída e enxerga um papel extremamente positivo para redução de perdas de transmissão e distribuição no setor elétrico.

A penetração dos VEs no mercado se dará de forma espontânea, pelas suas virtudes na medida que os consumidores percebam claramente suas vantagens. A dificuldade é que se trata de uma mudança de paradigma, um processo de adaptação doloroso para os atores tradicionais e que necessita superar barreiras de mercado e culturais.

Hoje existe uma barreira econômica que esteja barrando o deslanche da produção e venda de veículos elétricos no mundo, pois ele é um pouco mais caro que o com motor a combustão. Por outro lado, a conscientização da população está cada vez maior quando se trata de meio ambiente, assim muitos já estão optando pelos motores de energia considerável limpa, não poluente.

Existem desafios a serem superados pelas MEs para se tornarem atraentes, e alguns destes desafios são autonomia, velocidade e torque. Também deve-se seguir na direção de redução de custo para aumentar a oferta, a venda e conseqüentemente a produção, fechando o ciclo comercial.

1.2 Objetivo deste trabalho

Este trabalho tem como por objetivo apresentar um estudo desenvolvido com veículos elétricos (VEs), com o desenvolvimento de projeto de circuitos eletrônicos de aquisição de dados e condicionamento de sinais das grandezas elétricas e mecânicas, tais como tensão da bateria, corrente elétrica consumida, carga da bateria, temperatura, RPM do motor, velocidade da moto elétrica, sendo que todos os dados são georeferenciados. Estes dados fornecem informações importantes sobre as características e o desempenho das motos elétricas estudadas, além de revelar informações que podem contribuir para demonstrar a viabilidade de se utilizar este veículo em aplicações comerciais. São apresentados os resultados obtidos do Sistema Georeferenciado de Aquisição de Dados para Caracterização de Motos Elétricas com o monitoramento destes VEs durante 12 meses.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho foi desenvolvido através do contrato No.4200002665 firmado entre a UNICAMP e a AES Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A, referente ao projeto ANEEL 0390-047-2006, ciclo 2006/2007 intitulado "Medidores inteligentes de energia para carregadores de baterias de veículos elétricos". Assim foram adquiridas 10 MEs scooters S1000, do fabricante MotorZ para serem instrumentadas e estudadas. Oito MEs ficaram sendo utilizadas nos serviços de mensageiros e segurança da Eletropaulo em São Paulo durante os estudos, e duas MEs ficaram no laboratório do DEMIC/FEEC/UNICAMP, onde foram desenvolvidos os projetos implementados nas MEs. Os resultados obtidos com o desenvolvimento dos projetos serão apresentados no decorrer deste trabalho, porém os resultados dos estudos obtidos das MEs são de propriedade da AES Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A, e não serão divulgados neste trabalho.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos e o primeiro capítulo abordou uma introdução sobre veículos elétricos, conceitos, aplicações, história e o objetivo deste trabalho.

O Capítulo 2 contém uma breve explicação sobre a necessidade de utilizar a placa de aquisição de dados e condicionamento de sinais na aquisição dos dados das MEs. Será apresentado o sensor de corrente utilizado no projeto e como o projeto foi desenvolvido. Apresentam também neste capítulo a interligação da placa de aquisição de dados e condicionamento de sinais analógicos com a placa

microcontrolada e Labview, e com o computador de bordo para guardar os dados das MEs coletados. Para finalizar o capítulo, as características técnicas das MEs utilizadas na pesquisa serão apresentadas.

No Capítulo 3 são apresentados os principais cálculos e o desenvolvimento do projeto da placa de aquisição de dados e condicionamento de sinais analógicos, a comunicação entre a placa de aquisição de dados e condicionamento de sinais analógicos e o computador de bordo e a placa microcontrolada e Labview, e também será apresentado o desenvolvimento do projeto do sistema testador de bateria.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados dos cálculos comparados com os resultados obtidos com medições nos circuitos da placa de aquisição de dados e condicionamento de sinais analógicos (PAD/CSA), os resultados e a análise dos dados obtidos com a PAD/CSA em percursos efetuados com as MEs são apresentados. Em seguida serão apresentados os resultados do sistema desenvolvido e a análise dos dados obtidos experimentalmente na bateria da ME em teste.

O Capítulo 5 resume as conclusões gerais deste trabalho.

Capítulo 2

O sistema de Aquisição de dados e monitoramento

2.1 Introdução

Neste capítulo será apresentado o sistema de aquisição de dados para caracterização de veículos elétricos. Sua finalidade é de obter o máximo de informações possíveis das características elétricas das partes englobadas no sistema elétrico da ME. Ele coleta os sinais, condiciona-os em uma formatação padrão, para que posteriormente seja lida e guardada por um computador de bordo, ou também seja lida por uma placa microprocessada que envia estes dados ao microcomputador que contém um programa desenvolvido em Labview, onde, estes dados são apresentados em tempo real em formatação gráfica. Assim tem-se um raio-x do desempenho das MEs.

Apresentam-se assim, no decorrer deste capítulo, uma descrição geral do funcionamento do sistema desenvolvido e algumas características da ME.

2.2 Diagrama de Blocos do Sistema Total

A PAD/CSA coleta e condiciona os dados em valores proporcionais ao medido. O CB recebe estes valores condicionados de 0 a 5Vcc correspondente ao valor medido de tensão da bateria, corrente elétrica de consumo, detecção de pico corrente elétrica, velocidade e temperatura e converte-os para digital, processa-os e registra-os a cada 5 segundos os valores medidos da ME de forma organizada e legível para uma análise posterior em um *pendrive*. Em qualquer momento pode-se retirar o *pendrive* e analisar estes dados no computador. Pode-se analisar gerando gráficos quantitativos em excel, origin, etc e gerar plotagem automática em softwares livres com mapas geográficos tais como GPS TrackMaker e google maps, onde após a plotagem automática dos dados coletados tem-se mostrado o percurso da ME.

Apresenta-se na fig.(2.1) um diagrama em blocos para descrever o sistema completo de forma simplificada.

Na cor azul, observam-se as partes existentes em qualquer ME, principalmente nas que foram estudadas. A bateria, de 48Vcc 24Ah, depois tem-se a fonte chaveada que alimenta a iluminação da ME, tais como farol, seta, lanterna e painel. Na sequência tem-se os dois controladores PWM e

os motores da frente e de traz. Na cor verde apresenta-se o sistema desenvolvido para aquisição dos dados e condicionamento de sinais analógicos e o computador de bordo integrado com GPS e pendrive.

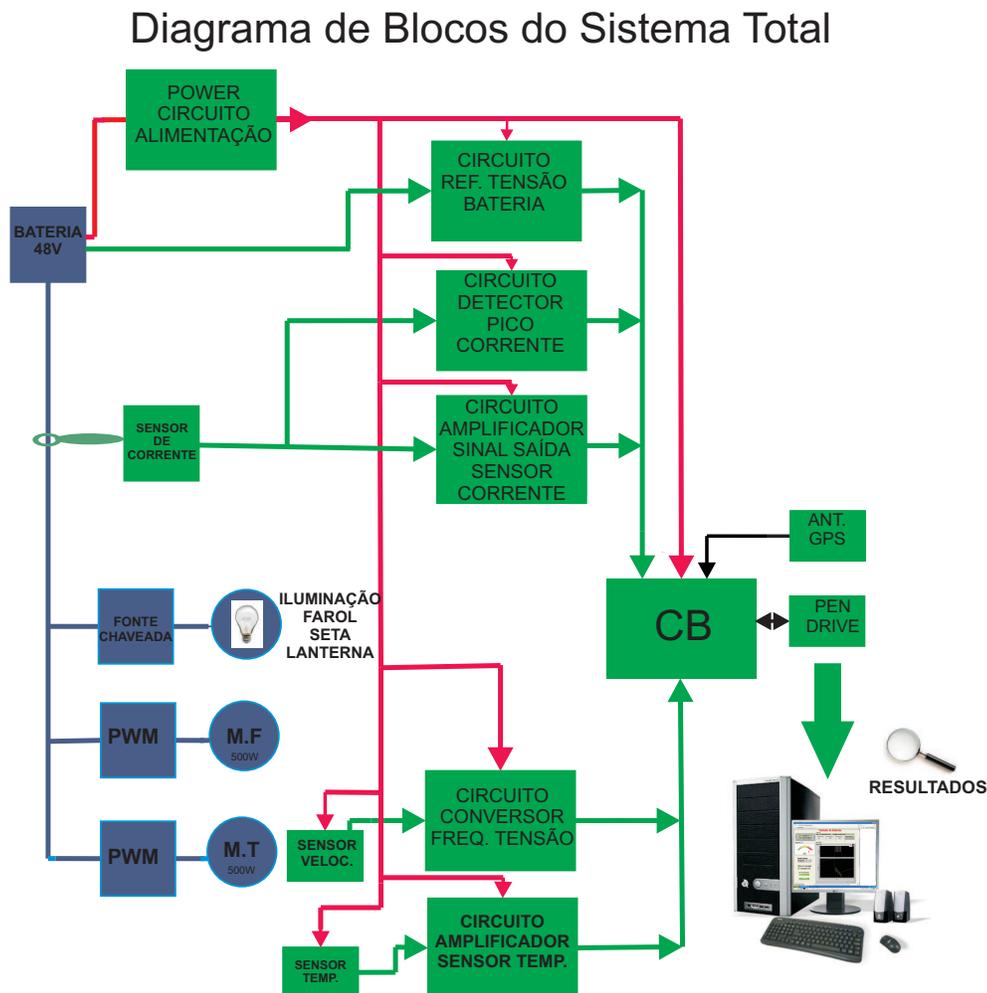


Fig. 2.1: Diagrama de blocos Sistema Total ME.

2.3 Necessidade da placa de condicionamento de sinais

No início era desejado medir o consumo de corrente elétrica da ME. Era preciso saber realmente qual era o valor da corrente elétrica consumida na bateria com a ME circulando em uma via plana, em uma subida e em uma descida.

Era necessário conhecer também qual era o desempenho e o rendimento total da ME.

Outro aspecto relevante é que a ME tinha um velocímetro que deixava muita dúvida. Aparentemente o velocímetro da ME não mostrava a velocidade real que estava desempenhando. Por exemplo, ainda com a ME parada, ao iniciar a saída para um percurso o velocímetro já mostrava que ela estava com uma velocidade de aproximadamente 10km/h. Assim se tornou relevante fazer uma análise de

forma mais precisa. Pensava-se assim, em desenvolver também um sensor para medir a velocidade da ME.

Era desejado desenvolver um projeto que fosse eficiente em obter as medidas elétricas e mecânicas e tivesse um baixo custo, pois poderia ser útil às muitas ME's que estão sendo vendidas e que serão vendidas futuramente.

Foram estudadas várias topologias, pesquisado e desenvolvido uma placa de circuito eletrônico denominada de (*Placa de Aquisição de Dados e Condicionamento de Sinais Analógicos (PAD/CSA)*). Foi adotado a sigla PAD/CSA, assim toda vez que aparecer no texto esta sigla, está se referindo a esta placa. A PAD/CSA é composta por circuitos eletrônicos que condicionam os sinais recebidos da ME, um sensor para medir velocidade e um sensor de temperatura.

Através da PAD/CSA, é coletado os dados referentes ao valor medido da tensão da bateria, do consumo instantâneo da corrente elétrica da ME, da ocorrência de pico de corrente elétrica, da velocidade da ME e da temperatura do motor ou do compartimento onde a PAD/CSA está instalada.

Para estudar com detalhes o desempenho do sistema elétrico da ME, tais como a bateria e os motores, que são dois componentes principais do sistema que desejavam-se pesquisar e avaliar o seu desempenho, eficiência e durabilidade, foi necessário desenvolver um circuito que mostrasse ao longo do tempo estes resultados com precisão e confiabilidade. Assim foram utilizados componentes eletrônicos, tais como resistores de precisão e circuitos integrados com baixo *offset* de saída, e com baixa variação de tensão na saída devido a temperatura.

Foi utilizado um componente para medir a corrente elétrica que utiliza o princípio de Efeito Hall, da fabricante Allegro, o sensor de corrente ASC752SCA-050 que mede de -50 à +50 Ampéres.

Para medir a velocidade do motor foi utilizado além de um sensor, um componente eletrônico conversor de frequência para tensão, o LM231AN, da National Semicondutores.

Foi projetado, montado, calibrado, testado e alterado o projeto em várias etapas, dos quais foram confeccionadas algumas placas de circuito eletrônico ao longo do projeto. No total foram confeccionadas três versões de PAD/CSA. Nas figs.(2.2), (2.3), (2.4), (2.5) e (2.6) serão apresentados algumas imagens do desenho (*layout*) dos circuitos eletrônicos das PAD/CSA desenvolvidos em software antes de confeccionar as placas de circuito impresso e fotos das placas eletrônicas construídas das PAD/CSA ao longo da pesquisa.

2.4 Armazenamento dos dados coletados

Depois precisou-se pensar em um dispositivo eletrônico que pudesse transmitir e receber ou somente receber e registrar estes dados e os armazenar de forma organizada.

Foi analisado várias alternativas de projeto para o envio dos dados coletados. Estudou-se a hipótese de transmitir estes dados coletados por GPRS(General Packet Radio Service), mas após análise foi concluído que o custo seria alto, assim se tornaria inviável. Foi estudado a hipótese de gravar os dados em memória flash do microcontrolador Atmega ou memória expandida, só que seria inviável na hora de fazer a leitura. Toda vez, teria que conectar a placa à um computador.

Chegou-se ao computador de bordo(CB)[9], que foi projeto de tese do aluno Paulo Soares, do departamento de Microeletrônica da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da UNICAMP.

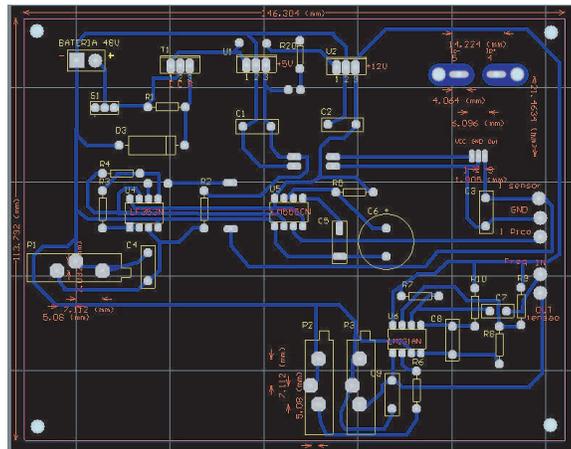


Fig. 2.2: Layout PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 1.0.

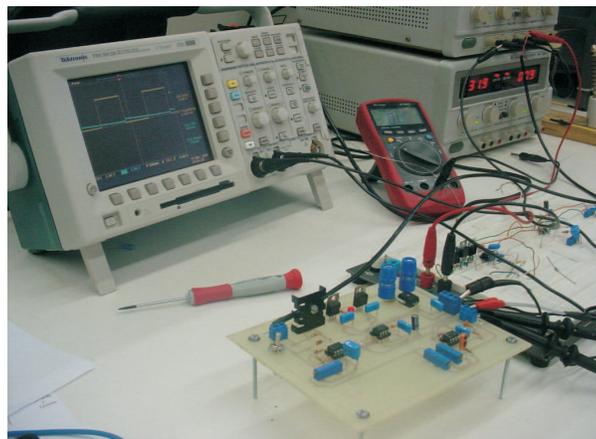


Fig. 2.3: PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 1.0.

O CB foi possível de ser utilizado neste projeto da ME por ser muito eficiente. Este CB, interligado à PAD/CSA, recebe os valores condicionados de 0 a 5Vcc correspondente ao valor medido de Tensão da bateria, corrente elétrica de consumo, detecção de pico corrente elétrica, velocidade e temperatura e converte-os para digital, processa-os e registra-os de forma organizada e legível para uma análise posterior em um *pendrive*. Este CB possui internamente uma placa de GPS (Global Position System), ou seja Sistema Global de Posicionamento, interligada à antena instalada no guidão da ME e possui também um circuito de gravação com um *pendrive* para armazenado dos dados.

Foi muito importante o desenvolvimento deste projeto, pois antes não havia como avaliar a cada instante durante a utilização da ME em campo. Após o desenvolvimento dos circuitos eletrônicos da PAD/CSA que condicionam e fornecem o valor da corrente elétrica consumida instantaneamente pela ME, o valor da tensão da bateria, o valor da velocidade da moto, a temperatura de qualquer peça da moto dependendo de onde estiver colocado o sensor móvel e também um sinal quando atingir um valor de pico de corrente elétrica instantânea, os dados são enviados ao CB e gravados em *pendrive*, conforme detalhado na fig.(2.7).

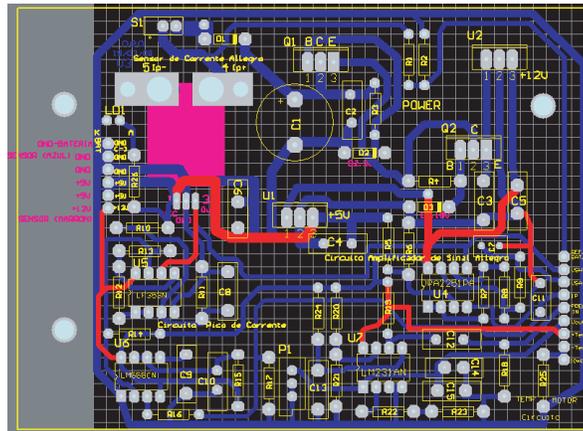


Fig. 2.4: Layout PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 2.0.

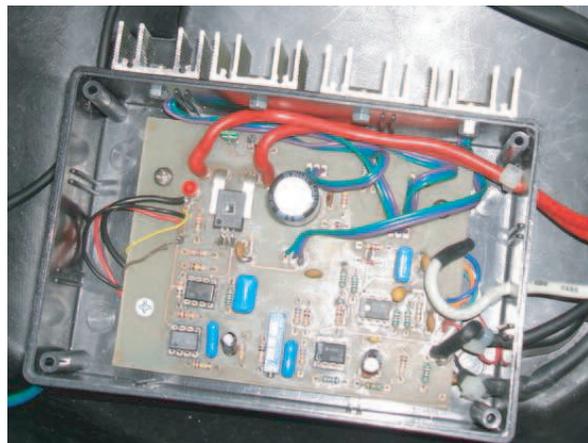


Fig. 2.5: PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 2.0.

2.5 Aquisição de Dados em Laboratório com Labview

Foi executado o projeto de um outro circuito eletrônico, destinado a coletar os dados condicionados pela PAD/CSA da ME e enviá-los ao microcomputador instantaneamente, através da porta serial de comunicação. Esta placa somente seria utilizada no laboratório.

Os dados recebidos pelo microcomputador eram processados em um sistema desenvolvido em Labview e apresentado em formato digital e analógico na tela do monitor do microcomputador. Assim era possível analisar a ME instantaneamente, "on-line", com ela em funcionamento no laboratório. A seguir apresentam-se as figuras e fotos (2.8), (2.9) e (2.10), da placa construída, do sistema construído e uma tela do Labview em funcionamento.

Assim, foi encerrado a primeira etapa, partiu-se para a montagem de dez placas da PAD/CSA para serem instaladas nas MEs. A AES Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A financiou a compra das MEs através do Contrato Eletropaulo/Unicamp. Duas MEs ficaram nos laboratórios do Departamento de Microeletrônica (DEMIC) da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEEC)

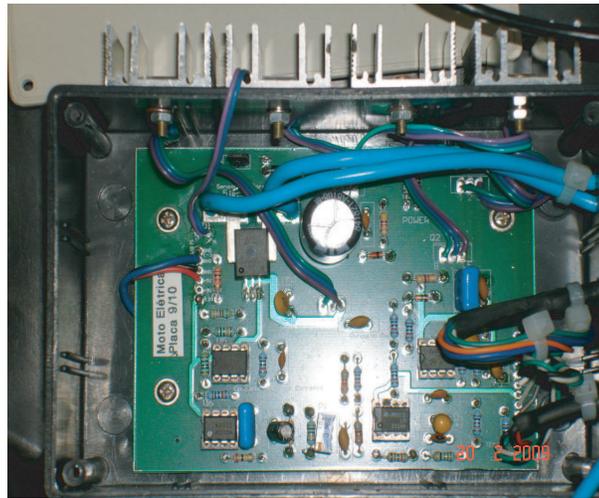


Fig. 2.6: PAD/CSA da ME - Scooters - Versão 3.0.

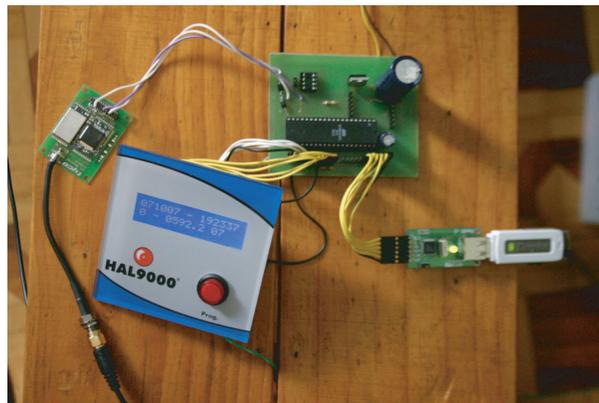


Fig. 2.7: Computador de Bordo (CB) da ME - Scooters.

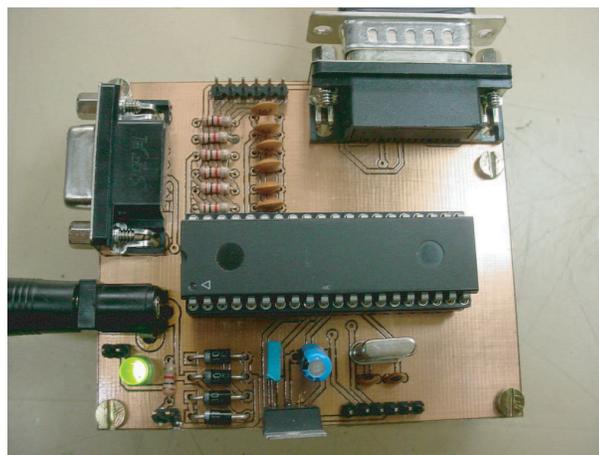


Fig. 2.8: Placa microcontrolada de Aquisição em Labview para ME - Scooters.

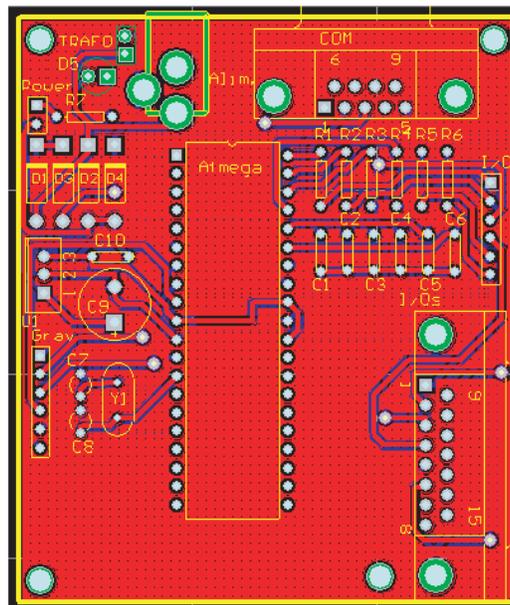


Fig. 2.9: Layout Placa microcontrolada de Aquisição em Labview da ME - Scooters.

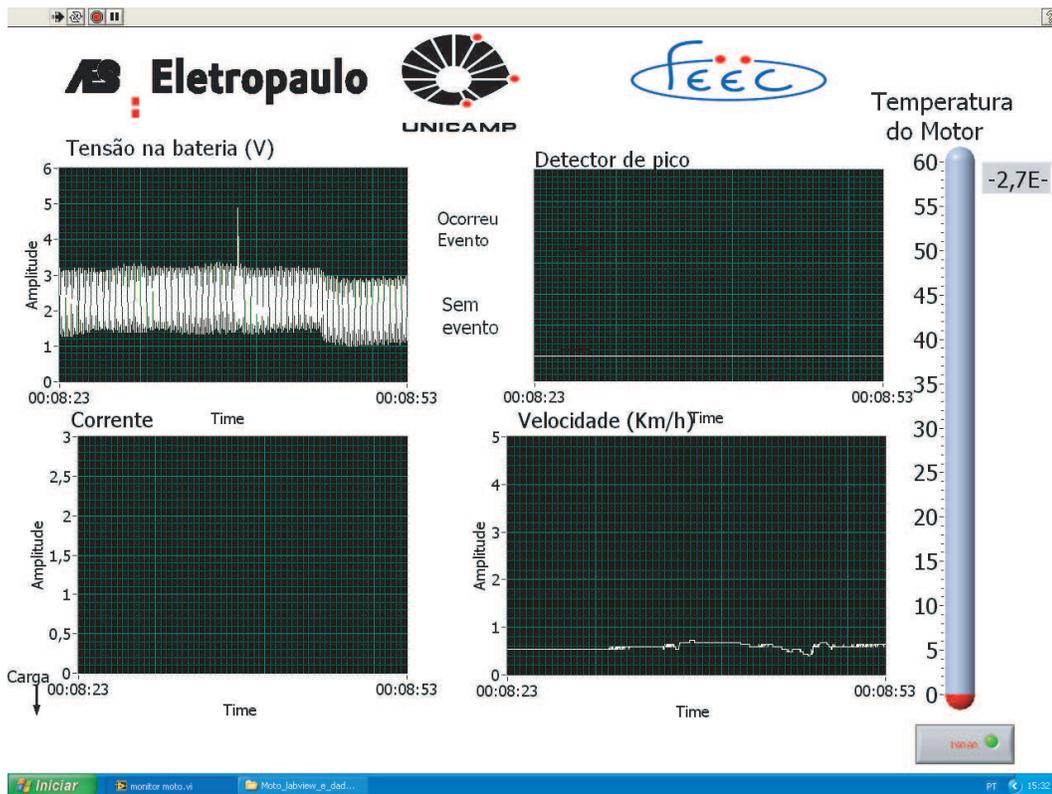


Fig. 2.10: Imagem do Programa Labview.

da UNICAMP e oito MEs ficaram na Eletropaulo em São Paulo para os funcionários utiliza-las em diversos trabalhos. As dez MEs foram instrumentadas e analisadas durante um ano.

Foi instalado oito kits (PAD/CSA + CB), para fazer a aquisição dos dados das MEs na Eletropaulo em SP.

2.6 Resumo das Característica Técnicas da ME.

As MEs estudadas são do modelo Scooters S1000, possuem dois motores para tração, um na roda da frente e outro na roda de trás e possuem também um disjuntor geral de proteção e dois controladores eletrônicos PWM para acionamento dos motores. Os motores são liberados para serem ligados através de duas chaves pequenas localizadas próximo da manopla esquerda. Uma chave possui 3 posições que definem os três estados: Os dois motores desligados, ou o motor da frente ligado, ou o motor de trás ligado. A outra chave libera para acionar os dois motores ao mesmo tempo. O acionamento e controle da energia aplicada aos motores que consequentemente determinam a velocidade da moto, são controlados pelo "acelerador", que fica na manopla direita. Ik; A energia que move a ME é fornecida por um conjunto de 4 baterias de 12V ligadas em série totalizando 48Vcc. As baterias são compostas por chumbo e ácido em forma gel, com envólucro lacrado que mesmo se virá-la de ponta cabeça não vasará a solução. Este conjunto de bateria fica no assoalho da ME, onde coloca-se os pés para apoio, dentro de um envólucro quadrado. Esta bateria fornece energia a todos os circuitos da ME e também aos circuitos eletrônicos do projeto que foi desenvolvido.

O circuito de iluminação, que engloba as lâmpadas de seta, farol e freio são alimentados por uma fonte chaveada conectada à bateria.

Na fig.(2.11) tem-se um diagrama de blocos simplificado das partes da ME modelo S1000 e na fig.(2.12) tem-se algumas fotos da ME tiradas ao longo da pesquisa.

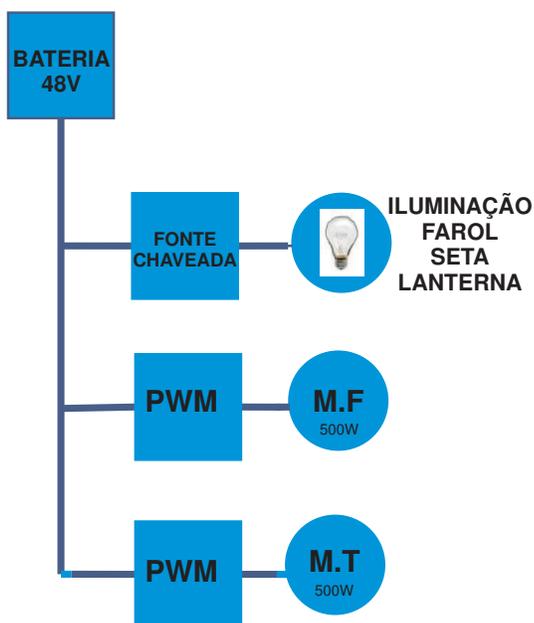


Fig. 2.11: Diagrama de blocos simplificado das partes das MEs modelo S1000 - Scooters.



Fig. 2.12: Detalhes da ME S1000- Scooters.

Apresenta-se na tab.(2.1) dados técnicos das MEs estudadas, consultados no site do fabricante[10]:

DESCRIÇÃO	DADOS TÉCNICOS
Modelo	S1000
Motor	Bi-Motor Elétrico de Corrente Contínua
Potência	1000 W (1.36 cv)
Torque	438 rpm - 12 Nm (cada motor)
Transmissão	Motor diretamente nas rodas traseira /dianteira
Autonomia	até 30 km (1 motor ligado, trajeto plano)
Recarregador	127/220 Vac x 48Vdc
Tempo de recarga	de 2 a 8 horas
Velocidade máxima	45 km/h
Capacidade máxima	90 kg
Pneus dianteiros/traseiros	10" x 3"
Suspensão dianteira	Telescópica - 160 mm
Suspensão traseira	Duplo amortecimento (conjunto de molas) - 205 mm
Dimensões	1,8m (c) x 0,8m (l) x 1,3m (a) c/retrovisor
Freios	Dianteiro (Disco)/Traseiro (Tambor)
Partida	Sem assistência - Chaveamento Liga/Desliga
Bateria	48Vdc x 24AH - Tipo Selada - Chumbo / Solução Ácida até 30 km
Altura do Assento do Solo	730mm (condutor)
Peso bruto do veículo	95 kg
Óleos lubrificantes	Isento - não aplicável

Tab. 2.1: Dados técnicos das MEs estudadas.

Capítulo 3

Projeto da Placa de Aquisição de Dados e Condicionamento de Sinais Analógicos e do Sistema Testador de Bateria da ME.

3.1 Introdução

O Projeto da Placa de Aquisição de Dados e Condicionamento de Sinais Analógicos(*PAD/CSA*) iniciou-se em 2007. Era necessário construir algo que tivesse baixo consumo de energia, pois o sistema iria ficar em funcionamento vinte e quatro horas por dia, fazendo um monitoramento constante na ME, sem interrupções. Assim, tentou-se otimizar o máximo o circuito eletrônico.

Inicialmente foram definidos, testados e caracterizados alguns componentes e sensores. Depois foram projetados circuitos eletrônicos que executassem algumas funções desejadas de aquisição e condicionamento de sinal.

Neste capítulo, descrevem-se todas as partes, pertencentes a *PAD/CSA*. Em cor azul, no diagrama de blocos resumido da fig.(3.1), temos os circuitos medidores de tensão da bateria, da corrente elétrica consumida, do detector de pico de corrente elétrica, da velocidade e da temperatura da ME. Será apresentado como foi desenvolvido o projeto e como funcionam os circuitos eletrônicos da *PAD/CSA*.

No decorrer da pesquisa com as MEs, várias delas apresentaram problemas com as baterias, e tiveram que ser trocadas. Assim, foi desenvolvido um sistema em laboratório para testar a bateria da ME, o qual será apresentado no final deste capítulo.

3.2 Conversores A/D do Atmel

Nesta seção foi utilizado o conversor A/D do ATmel por apresentar as seguintes especificações que atende a necessidade do projeto em baixo consumo, tempo de resposta, velocidade de conversão, e outras características do projeto.

Após os dados serem coletados pelos sensores e condicionados pela *PAD/CSA*, em uma forma padrão, estes são enviados ao CB, através de ligações entre as saídas da *PAD/CSA* e as entradas do

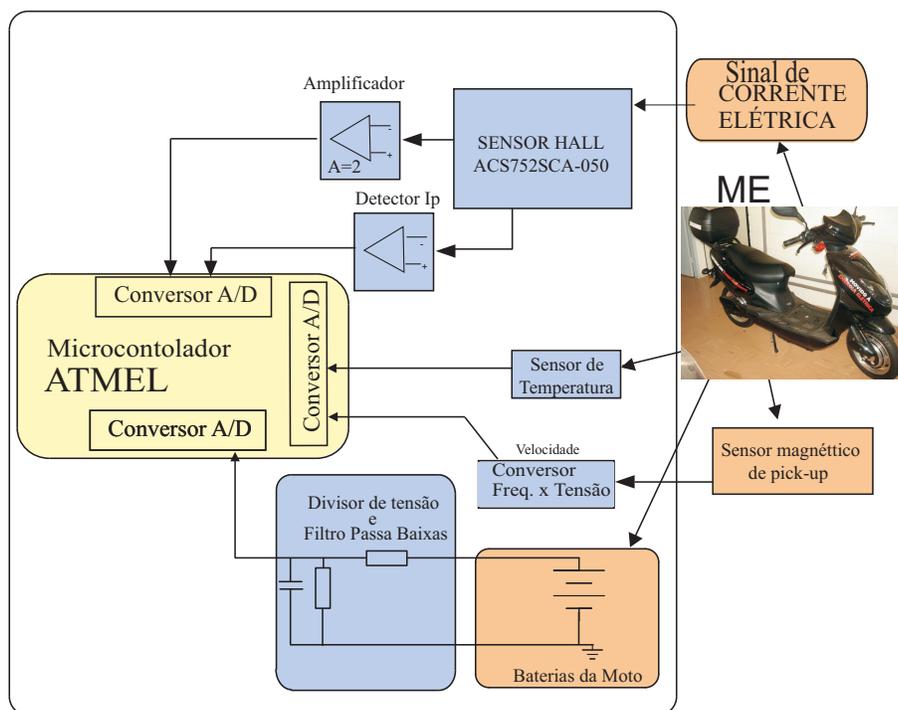


Fig. 3.1: Diagrama em bloco da PAD/CSA.

conversor A/D do microcontrolador interno do CB.

O CB organiza os dados recebidos e insere mais alguns, tais como posicionamento de GPS, data e hora, e depois grava tudo em um *pendrive* e apresenta em um display LCD.

O microcontrolador utilizado internamente no CB para executar estas tarefas é o microcontrolador do fabricante ATmel, o ATmega8535[11], que é um microcontrolador de 8 bits com a arquitetura avançada Risc.

O ATmega8535 é um microcontrolador de baixo consumo, "low-power". Seu conversor AD é de 10 bits, com resolução de 1024 passos. Em 0Vcc temos 0000d e em 5Vcc teremos 1023d. O tempo de conversão é de 65 a 260 μ s. Ele possui sete canais de entrada para conversão de sinal analógico para digital. No projeto foram utilizadas cinco destas entradas para que cada uma lesse independentemente, os valores de tensão da bateria, corrente elétrica consumida, sinal de detecção de pico de corrente elétrica, velocidade e temperatura. O Conversor A/D do ATmega8535 tem uma precisão de mais ou menos 2 LSB (dígitos menos significativos).

3.3 Medição da corrente elétrica consumida pela ME

O principal objetivo do projeto era monitorar a corrente elétrica da ME, pois consegue-se derivar e analisar vários pontos importantes do sistema da ME.

Além de monitorar a corrente elétrica consumida era desejado monitorar a corrente elétrica de carga da bateria para obter mais dados sobre o funcionamento da ME e conseqüentemente sobre o funcionamento do motor elétrico e da bateria, bem como a eficiência, autonomia e durabilidade das

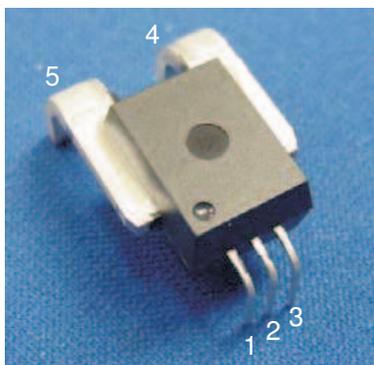
partes.

Decidiu-se utilizar um sensor de medição de corrente com dupla polaridade, isto é, que operasse com medidas de correntes positivas e negativas e que fornecesse uma medição confiável, linear, precisa e estável. Os sensores que operam com dupla polaridade, geralmente necessitam de fontes de alimentação simétricas, só que não era desejado este tipo de sensor, pois traria um aumento da complexidade do hardware e conseqüentemente traria outros inconvenientes, tais como, custo e aumento do tamanho físico do hardware.

Definiu-se então, que seriam utilizados sensores de corrente que tivessem o "zero" deslocado em $V_{cc}/2$, assim os valores de tensão de saída (V_{out}) ficariam sempre positivos e não seria necessário utilizar fonte de alimentação simétrica. Com a definição destes parâmetros, foi pesquisado quais os modelos que existiam de sensores de efeito hall que executassem as funções desejadas.

3.3.1 Sensor de Corrente

O sensor de corrente definido para ser utilizado foi o sensor de efeito hall, da família Allegro ACS75x, o ACS752SCA-050[12]. Ele é totalmente "trimado", isto é, ele possui um sistema interno de calibração que ajusta o ganho e offset, o que facilita sua implementação. Este sensor executa as funções desejadas e apresenta excelente linearidade na faixa de corrente primária de -50A a +50A, o que é suficiente para ME e a saída VSH tem sinal de tensão somente positivo. O formato do encapsulamento deste componente é tipo CA, como visto na fig.(3.2), e a montagem em placa de circuito impresso é bastante simples.



Pin 1: V_{CC}	Terminal 4: I_{p+}
Pin 2: Gnd	Terminal 5: I_{p-}
Pin 3: VSH	

Fig. 3.2: Encapsulamento do sensor de efeito hall ACS752SCA-050 - Allegro.

Ele possui 5 terminais. Os terminais 4 ($+I_p$) e 5 ($-I_p$) são os terminais que são ligados em série com o circuito da ME, para que a corrente elétrica passe pelo sensor de corrente. Os terminais 1, 2 e 3 são, respectivamente, os terminais de V_{cc} , Gnd e VSH. O terminal V_{cc} e Gnd são alimentados com $5V_{cc}$.

3.3.2 Funcionamento

O sensor de corrente ACS752SCA-050 funciona com alimentação simples de 5Vcc. A corrente passa pelo fio de cobre interno, com resistência máxima de $130\mu\Omega$, gera um campo magnético para o sensor hall, onde vários dispositivos internos amplificam, filtram e tratam o sinal, para que na saída seja entregue um sinal linear, estável, proporcional a corrente primária e com valores totalmente confiáveis.

Pode-se ver na fig.(3.3) um diagrama de blocos[12] simplificado da estrutura interna do conjunto dos itens envolvidos para formar o sistema interno do componente eletrônico, o sensor de efeito hall ACS752SCA-050, onde tem-se a eletrônica analógica de tratamento de sinal no sensor, que fornece uma saída centrada em $\frac{V_{cc}}{2}$.

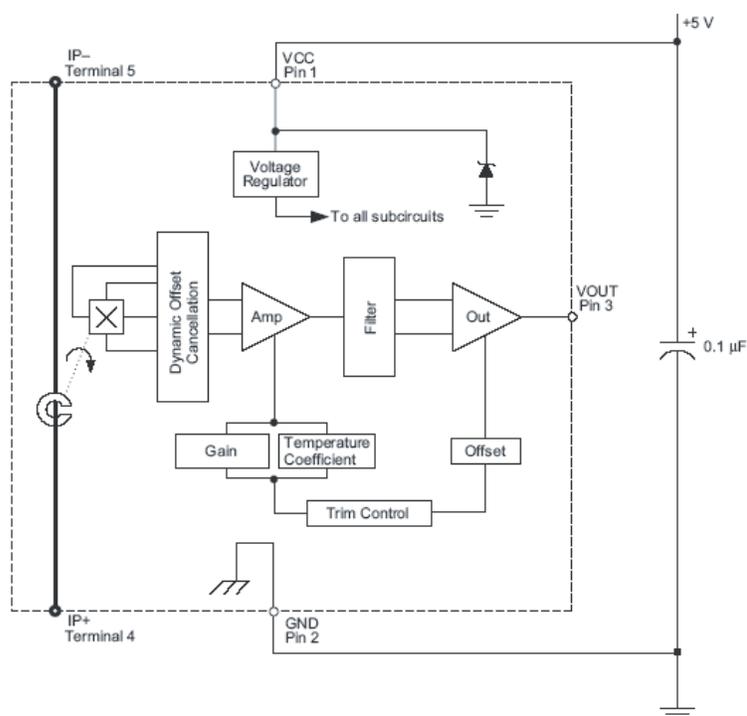


Fig. 3.3: Diagrama de blocos dos circuitos internos do sensor ACS752SCA-050.

Na fig.(3.4) temos um gráfico que mostra a tensão de saída em função da corrente de entrada primária para este sensor, onde é possível verificar que apresenta uma ótima linearidade do sinal de saída VSH em relação à corrente elétrica (gráfico Tensão de saída VSH x Corrente primária I). A saída VSH varia linearmente de 0,5V a 4,5V, com um delta de 4V, proporcional a corrente elétrica primária que pode variar de -50A a 50A.

Como se pode observar no gráfico, com a corrente elétrica nula nos terminais +Ip e -Ip, o valor do sinal de saída no terminal VSH é $\frac{V_{cc}}{2}$, isto é, VSH= 2,5 Volts. Incrementando a corrente elétrica até 50A, a saída de tensão VSH do sensor é incrementada proporcionalmente até 4,5V. No caso, incrementando negativamente a corrente elétrica entre os terminais +Ip e -Ip, a saída VSH do sensor será decrementada, de 2,5V até chegar a 0,5V, proporcionalmente à corrente elétrica primária circulando até -50A, cumprindo com a linearidade e outras características importantes que foram citadas

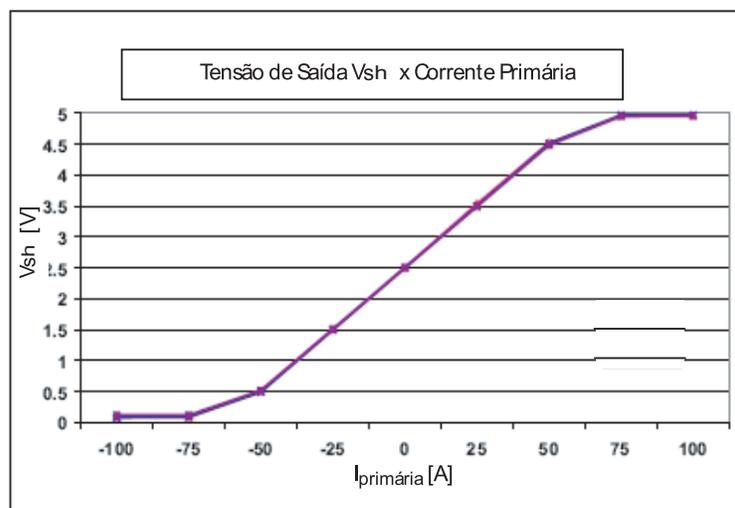


Fig. 3.4: Linearidade do Sensor de efeito hall - VSH.

anteriormente neste capítulo.

Este dispositivo pode operar até 100A, mas quando a corrente elétrica primária varia de -50A até -100A e entre +50A a +100A, a tensão da saída VSH não é mais proporcional e a linearidade já não é mais a mesma, isto é, a reta da tensão de saída em função da corrente primária que era linear muda a sua inclinação e o funcionamento e a utilização deste dispositivo para estes valores de corrente elétrica primária já não é mais recomendado, pois perde-se a relação entre ambas.

A sensibilidade, que é um dos fatores importantes observados neste dispositivo, é mostrada no cálculo abaixo:

$$\frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{4,5 - 0,5}{+50 - (-50)} = \frac{4}{100} = \frac{40mV}{A}.$$

3.3.3 Implementação do circuito de medição de corrente elétrica consumida da bateria na ME

Embora o sensor escolhido forneça a tensão de saída VSH em valores que são fáceis de serem interpretados, decidimos amplificar este sinal para termos uma faixa de tensão de saída maior em função da corrente elétrica primária e assim fornecê-lo ao microcontrolador. Na fig.(3.5) é apresentado como o sensor foi ligado na ME. Ele foi ligado em série com a bateria que alimenta a ME.

3.3.4 Circuito Amplificador de VSH

O circuito eletrônico projetado para amplificar o sinal de tensão de saída VSH foi desenvolvido utilizando um amplificador operacional [13] com baixo offset de saída, com baixo drift, e foi obtido

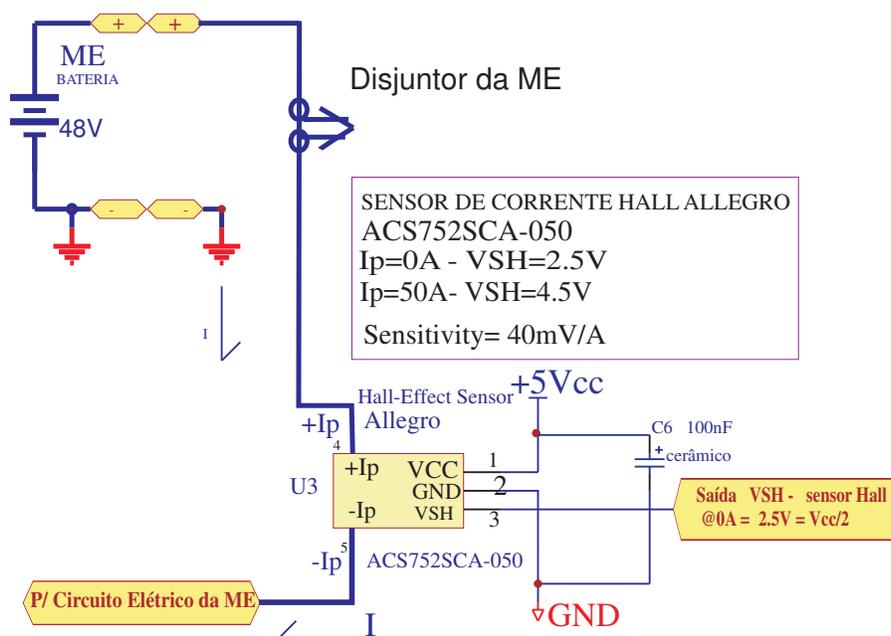


Fig. 3.5: Circuito de ligação do sensor ACS752SCA-050 na PAD/CSA da ME.

um sinal de ótima qualidade para enviar ao microcontrolador ATmega. Os resistores utilizados tem precisão de 1% .

Devido ao sensor ACS752SCA-050 fornecer com linearidade o sinal de saída de $0,5V_{cc}$ a $4,5V_{cc}$, correspondendo respectivamente a uma excursão da corrente primária de $-50A$ a $+50A$, e devido ao consumo da corrente da bateria que alimenta a ME trabalhar com os dois motores e não atingir correntes acima de 25 ampéres, significando que o sinal de saída do sensor iria apenas variar de $2,5V_{cc}$ para $3,5V_{cc}$, decidimos por trabalhar com um faixa de maior variação de tensão enviada ao microcontrolador. Assim decidimos que quando a corrente elétrica fosse de $0A$, a tensão entregue ao microcontrolador continuaria sendo $2,5V$, porém quando a corrente elétrica fosse de $25A$, a tensão entregue ao microcontrolador seria de $4,5V$.

Pode-se calcular e notar que a sensibilidade do sensor é de $40mV/A$, agora o sinal entregue com ganho 2 ao microcontrolador será de $80mV/A$.

Apresenta-se o circuito eletrônico na fig.(3.6), pode-se notar que a tensão de saída VSH do sensor de corrente ACS752SCA-050 está ligada na entrada do circuito amplificador. A alimentação do circuito é feita através de um circuito de fonte analógica desenvolvido na própria PAD/CSA, para fornecer alimentação de $+5V_{cc}$ e $+12V_{cc}$ a toda PAD/CSA.

O circuito eletrônico da fig.(3.6), está representado por um diagrama de blocos na fig.(3.7). O circuito eletrônico foi projetado de forma que o amplificador A está configurado como buffer reforçador do sinal de entrada com ganho igual a 1, sendo que a tensão de saída deste primeiro estágio caracteriza-se como uma referência de tensão de $2,5V_{cc}$ para o segundo estágio que é o estágio B, este com amplificação de ganho igual a 2.

A saída de tensão VSH do sensor de corrente está conectada na entrada positiva do amplificador do estágio B. Após o sinal ser amplificado, passa por um filtro passa alta antes de ir para o CB.

A seguir apresentamos com detalhes os cálculos do estágio de amplificação. Em (3.1) tem-se a

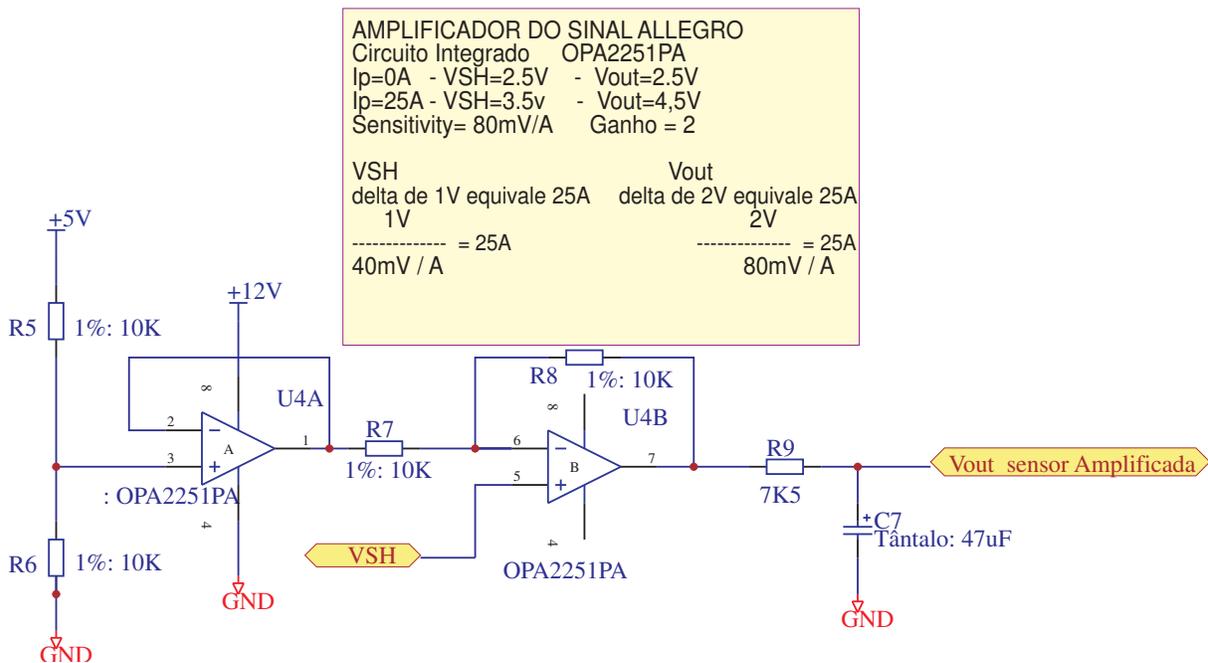


Fig. 3.6: Circuito amplificador do sensor ACS752SCA-050 na PAD/CSA.

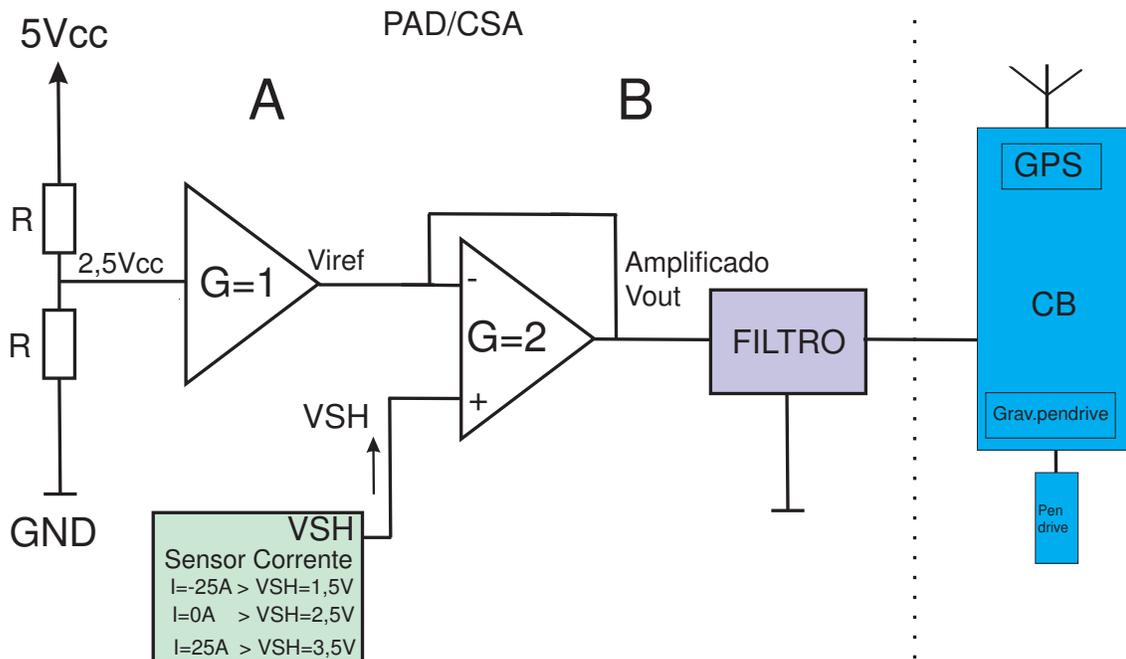


Fig. 3.7: Diagrama de blocos do estágio amplificador do sensor ACS752SCA-050 da PAD/CSA.

equação para cálculo de Vout.

$$V_{out} = -V_{iref} \frac{R8}{R7} + (1 + \frac{R8}{R7}) V_{SH} \tag{3.1}$$

Dados:

Se a corrente que passa no sensor é: $I=0A$; A tensão de saída VSH do sensor hall ACS752SCA-050, que vai para o amplificador é 2,5V, portanto: $V_{SH} = 2,5V$

Assim temos:

$$I = 0 \rightarrow V_{i_{ref}} = 2,5V \text{ e } V_{SH} = 2,5V$$

Solução:

Através da equação(3.1), calcula-se o valor da tensão de saída V_{out} para VSH=2,5V, conforme apresentada a seguir:

$$V_{out} = -\frac{5}{2} \times \frac{10K}{10K} + \left(1 + \frac{10K}{10K}\right) \times \frac{5}{2} = 2,5V \quad (3.2)$$

Assim é comprovado que quando a corrente primária é igual a zero, a tensão de saída do circuito amplificador continua sendo igual ao valor da tensão de saída do sensor, 2,5V.

A seguir apresentamos o cálculo para a corrente elétrica primária de 25A.

Dados:

Se a corrente que passa no sensor é: $I=25A$; A tensão de saída (V_{SH}) do sensor holl ACS752SCA-050, que vai para o amplificador é $V_{SH} = 3,5V$, que é mostrada por: Sensibilidade do sensor= 40mV/A.

Se a saída de tensão VSH do sensor com corrente primária de 0A é 2,5V, com corrente primária de 25A a tensão de saída VSH será 3,5V. Isto é, a saída de tensão do sensor aumenta 1V, comprovado pelo cálculo $1V \div 40mV/A = 25A$.

Assim temos:

$$I = 25A \Rightarrow V_{i_{ref}} = 2,5V \text{ e } V_{SH} = 3,5V$$

Solução:

Através da equação(3.1), calcula-se o valor da tensão de saída V_{out} para VSH=3,5V, conforme apresentada a seguir:

$$V_{out} = -\frac{5}{2} \cdot \frac{10K}{10K} + \left(1 + \frac{10K}{10K}\right) \times \frac{7}{2} = 4,5V \quad (3.3)$$

Assim, quando no circuito amplificador o valor de $V_{SH}=3,5V$, V_{out} será 4,5V.

A variação da tensão de entrada do amplificador é: $\Delta V_{SH} = 3,5V - 2,5V = 1V$;

A variação da tensão de saída do amplificador é: $\Delta V_{out} = 4,5V - 2,5V = 2V$;

O ganho calculado é: $\Delta V_{out} / \Delta V_{SH} = \frac{4,5-2,5}{3,5-2,5} = \frac{2}{1} = 2$.

Para calcularmos a tensão de saída do amplificador quando a corrente elétrica for negativa, isto é, quando a bateria estiver recebendo carga de energia, basta aplicar na equação (3.1) valores de tensão correspondentes a corrente negativa, que são valores de saída do sensor de corrente menores que 2,5V e maiores que 0V.

Por exemplo, para I primária de -25A, temos:

$$\text{Variação da tensão de saída VSH do sensor: } 40\text{mV/A} \times -25\text{A} = -1\text{V}$$

$$\text{Assim temos, } 1\text{V} \div \frac{40\text{mV}}{\text{A}} \text{ ou } \frac{-1\text{V}}{40\text{mV/A}} = -25\text{A}$$

$$\text{O valor da tensão de saída VSH do sensor será: } \Delta V_{SH} = 2,5\text{V} - 1\text{V} = 1,5\text{V}$$

Apresenta-se na fig.(3.8) o gráfico plotado da tensão amplificada da saída do sensor em função da corrente primária.

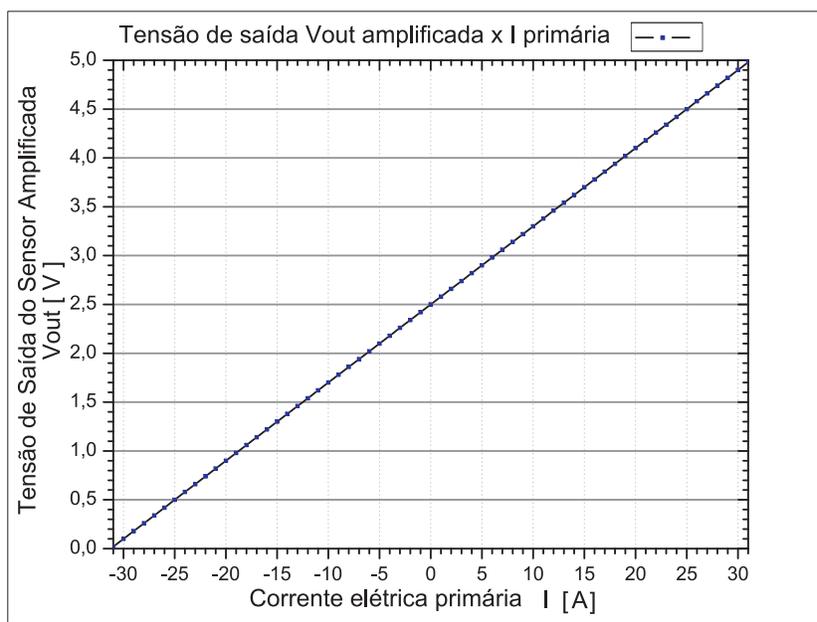


Fig. 3.8: Gráfico calculado da tensão de saída do circuito amplificador em função da corrente primária do sensor de corrente ACS752SCA-050 na PAD/CSA.

3.3.5 Projeto do microcontrolador

A tensão de alimentação, +5Vcc, do CB é fornecida pela PAD/CSA. O valor máximo de tensão de entrada do ATmega8335 é de 5Vcc, assim todos os circuitos da PAD/CSA condicionam os valores de tensão de 0 a 5Vcc.

3.4 Medição da Tensão da Bateria

A tensão da bateria é monitorada continuamente. A fig.(3.9), mostra um diagrama que contém o circuito de medição da tensão da bateria, que é dividida e filtrada (com uma constante de tempo relativamente alta, que permite passar todos os picos de tensão, porém reduz o ruído em alta frequência que pode contaminar o sinal), antes de ser enviada ao microcontrolador. O circuito eletrônico de medição da tensão da bateria é composto pelos componentes eletrônicos R1, R2 e C15.

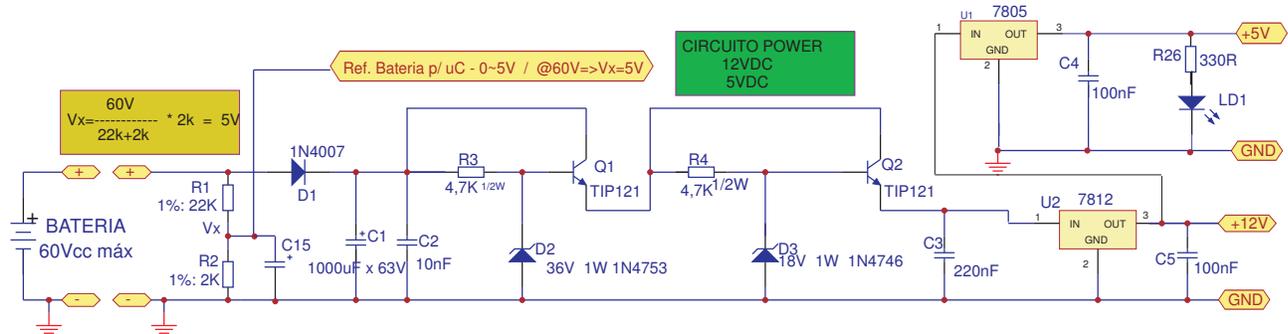


Fig. 3.9: Diagrama esquemático que contém o divisor de tensão com filtro do circuito de medição de tensão de bateria da PAD/CSA, na ME.

A seguir será apresentado os cálculos do circuito de medição da tensão da bateria.

Dados:

Fundo de escala $V_{BatMAX}=60V_{cc}$;

Calculando o valor da referência máxima:

$$V_{Ref} = \frac{V_{Bat}}{R1+R2} \times R2$$

$$V_{Ref} = \frac{60}{22K+2K} \times 2K$$

$$V_{Ref} = 0,0025 \times 2K$$

$$V_{Ref} = 5V_{cc}$$

Assim o valor máximo da V_{Ref} de medida enviada ao microcontrolador é: $V_{RefMax}=5V_{cc}$

3.5 Medição do Pico da Corrente do motor

A ideia inicial era analisar o comportamento do motor da ME durante o trajeto e contabilizar os picos de corrente elétrica que era considerado de uma aceleração exagerada, pois para trafegar com a ME não seria necessário acelerar de uma vez só todo o motor. Assim foi definido um limiar de corrente elétrica que seria pesquisado.

Na fig.(3.10), tem-se um diagrama do circuito de detecção do pico de corrente elétrica. Quando ocorrer um pico no consumo da corrente elétrica fornecida pela bateria da ME, ele detecta e envia um sinal ao microcontrolador. Observou-se que o circuito de detecção de pico de corrente elétrica que recebe o sinal do sensor de corrente, está calibrado para detectar picos de corrente elétrica ocorridos acima de 31,3A e assim enviar um pulso de 5V com duração de 1,1s ao microcontrolador, tempo este determinado pela configuração do circuito astável ligado na saída do circuito detector, para que, ocorrendo este pico, ele possa ser detectado a cada segundo. Este tempo evita a detecção repetitiva do mesmo evento dentro de 1.1s.

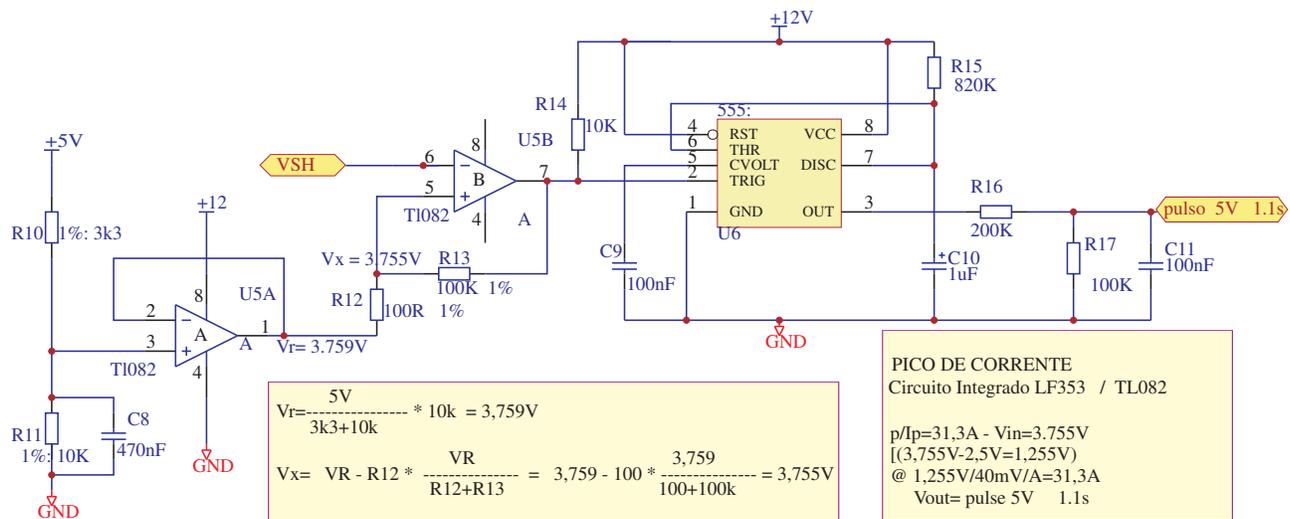


Fig. 3.10: Diagrama esquemático do circuito de detecção de eventos de pico da corrente elétrica da PAD/CSA, na ME.

A seguir é apresentado alguns cálculos do projeto de detecção de pico de corrente elétrica, assumindo que o valor de corrente elétrica estipulada como pico de corrente seja de aproximadamente 31A.

Temos:

$$I_p = 31A; R_{12} = 100 \Omega; R_{13} = 100K \Omega;$$

Calculamos a tensão de saída do sensor:

$$V_{out\,Sensor} = 2,5 + \frac{40mV}{A} \times 31A = 3,74V$$

Quando a tensão V_{out} do sensor for próxima de 3,74V, o circuito irá enviar ao microcontrolador um pulso de 5V com duração de 1,1s para ser registrado como um episódio de pico de corrente.

Apresentamos os cálculos a seguir:

Foram escolhidos valores comerciais de resistores e foi utilizado para $R_{10} = 3k3 \Omega$.

Calculamos a tensão de referência V_R :

$$V_R = \frac{V_{cc}}{R_{10} + R_{11}} \times R_{11}$$

$$V_R = \frac{5}{3k3 + 10k} \times 10k$$

$$V_R = 3,759V$$

Agora calculamos a tensão V_x que é a tensão de comparação com a tensão V_{out} do sensor para o circuito disparar o sinal de detecção de pico de corrente para o microcontrolador:

$$V_x = V_R \pm R_{12} \times \frac{V_R}{R_{12} + R_{13}};$$

Substituindo os valores, temos a resposta de V_x entre:

$$V_x = 3,755V \text{ a } 3,762V.$$

Conferindo o ponto de detecção:

$$3,755V - 2,5V = 1,225 \rightarrow 1,225V \div \frac{40mV}{A} = 31,3A.$$

$$3,762V - 2,5V = 1,262 \rightarrow 1,262V \div \frac{40mV}{A} = 31,5A.$$

Assim a detecção de pico de corrente elétrica ocorre entre 31,3A e 31,5A.

3.6 Medição da Velocidade da Moto

A medição da velocidade da ME será apresentada de dois métodos diferentes.

Um dos projetos desenvolvidos para medir a velocidade da ME, e que foi empregado em todas as ME estudadas, foi o projeto que utiliza as medidas geográficas (altitude, latitude e longitude) e a base de tempo fornecidas pelo GPS interno do CB. O CB lendo os valores instantâneos destes parâmetros, calcula e fornece a cada 5 segundos a velocidade da ME.

O outro projeto na ME, e que ficou em testes na ME no laboratório do DEMIC, foi com a implementação de um sensor com um pick-up magnético acoplado ao eixo da roda, instalado a uma distância menor que 15mm dos parafusos da roda traseira. O sensor detectava os nove parafusos existentes na roda da ME quando esta girava, e após cada detecção o sensor enviava pulsos a um circuito eletrônico contador digital projetado e calibrado na PAD/CSA que convertia estes pulsos (frequência) em tensão, correlacionando a velocidade da ME e a rotação do motor.

Na fig.(3.11) tem-se um diagrama dos circuitos de medições, onde vê-se, o circuito de conversão, para medir a velocidade e a rotação do motor, dado que consideramos vital para fazer uma avaliação da durabilidade das motos.

A seguir será apresentado o resumo de alguns cálculos de parâmetros que foi utilizado no projeto do circuito de velocidade.

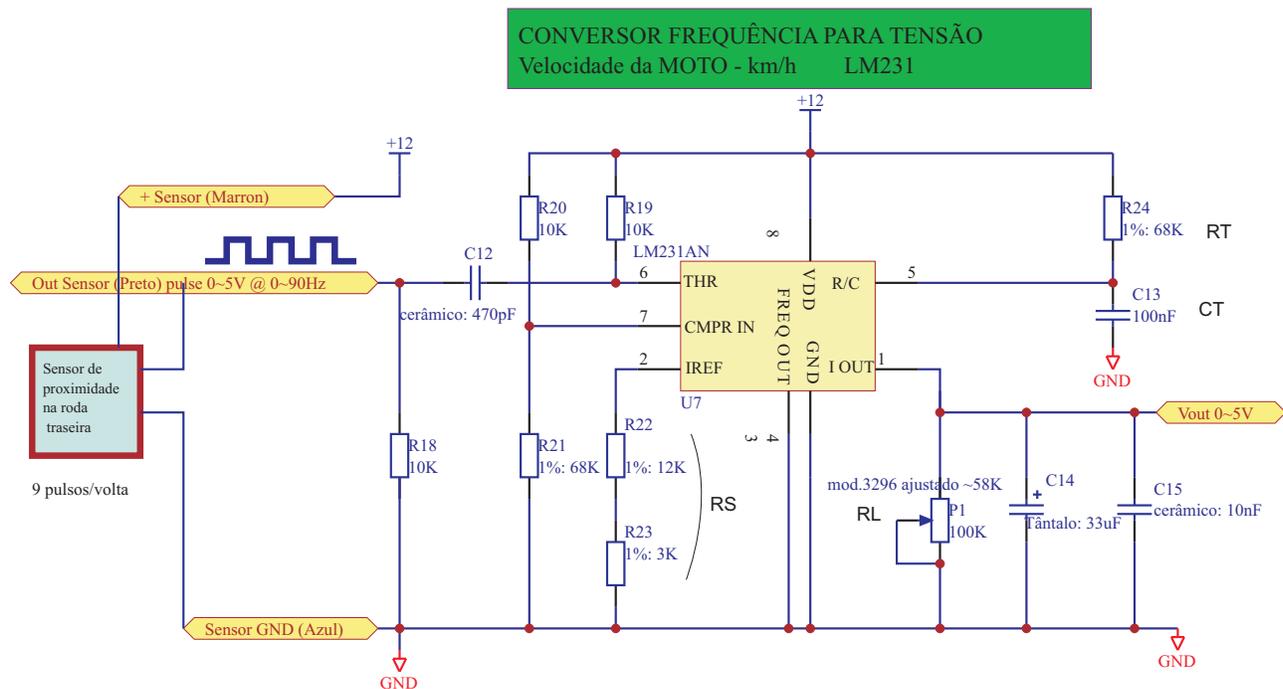


Fig. 3.11: Diagrama esquemático do circuito de medição de velocidade da ME na PAD/CSA.

Dados da ME:

Diâmetro da roda: 500mm = 0,5m.

Perímetro: $\pi \times D = \pi \times 0,5 = 0,5\pi$ m.

Distância: $\frac{\pi}{2}$ m/Volta.

Na velocidade de 50Km/h $\rightarrow \frac{50000m}{3600s} = 13,89$ m/s.

Calculando-se o número de voltas da roda por segundo:

$$\rightarrow \frac{13,89}{0,5\pi m/Volta} = 8,84 \text{ voltas/s.}$$

Com 9 parafusos metálicos como detectores, a frequência é:

$$f = \text{pulsos/volta} \times \text{número de voltas/s.}$$

$$f = 9 \times 8,84 = 79,6\text{Hz.}$$

Isto significa que em 50Km/h a frequência do sinal do sensor enviado ao circuito conversor Frequência Tensão(FxT) é de 79,6Hz. A velocidade máxima em uma descida é de 50km/h e por segurança, para não correr o risco de queimar a entrada analógica do microcontrolador, calibrou-se o

circuito conversor em 90Hz, por ser um valor com uma margem de segurança e fácil de ser calculado e calibrado e com uma saída correspondente do conversor FxT em 5Vcc. Calculando-se o fundo de escala, tem-se o cálculo do passo do conversor:

$$f = \text{pulsos/volta} \times \text{número de voltas/s}.$$

Em @90Hz, teremos quantas voltas/s ?:

Temos que, $F = \text{pulsos/Voltas} \times \text{no. de Voltas/s}$

$$\text{no. de Voltas/s} = \frac{F}{\text{pulsos/Voltas}}$$

$$\text{no. de Voltas/s} = \frac{90}{9}$$

$$\text{no. de Voltas/s} = 10 \text{ Voltas/s}$$

$$10 \text{ Voltas/s} \times 0,5\pi m/\text{Volta} = 15,7m/s$$

$$15,7m/s \times 3600s = 56,52Km/h.$$

Calculando o passo temos:

$$\text{passo} = \frac{5V \times 1 \frac{km}{h}}{56,52 \frac{Km}{h}} = 88,46mV.$$

Dados do circuito conversor FxT(Frequência x Tensão).

Dados: $V_{out} = 5V$; $freq_{in} = 90Hz$; $RS = 15k\Omega$; $RT = 68k\Omega$; $CT = 100nF$; $RL = ?$;

$$V_{out} = freq_{in} \times 2,09 \times \frac{RL}{RS} \times (RT \times CT).$$

$$5 = 90 \times 2,09 \times \frac{RL}{15k} \times (68k \times 100n).$$

$$RL = 58,6k\Omega.$$

Tem-se então, as equações resumidas deste circuito para cálculo da tensão de saída do convertor FxT e cálculo da velocidade da ME:

$$V_{out} = freq_{in} \times 0,05556892.$$

$$\text{Velocidade ME} = \frac{V_{out}}{0,08846} [\text{Km/h}]$$

Podem-se assim, com dados calculados anteriormente, montar a tabela dos valores calculados, proporcionais à frequência, tensão de saída do conversor e velocidade da ME. Na tabela (3.1), tem-se

um resumo dos dados do sistema de velocidade da ME:

Frequência [Hz]	Tensão[V]	Velocidade[km/h]
1,592	0,08846	1
24,75	1,38	15,58
55,7	3,09	35
66,6	3,70	41,84
79,6	4,42	50
90	5	56,52

Tab. 3.1: Tabela resumida dos valores de frequência, tensão e velocidade, calculados do sistema medidor de velocidade da ME.

3.7 Medição da Temperatura

A medição da temperatura do motor da ME foi efetuada algumas vezes para verificar se a temperatura subia muito durante o acionamento do motor elétrico.

Na fig.(3.12) é mostrado um sensor de temperatura, o AD590 da Analog Devices, que possui uma saída de corrente constante de 1uA por grau Kelvin. Alimentamos o sensor com 12Vcc e amplificamos o sinal de saída para obtermos uma variação da tensão entregue ao microcontrolador ATmega entre 0Vcc a 5Vcc.

O circuito integrado AD590 é um transdutor de temperatura que produz uma saída de corrente proporcional à temperatura absoluta. Na indústria, em sua fabricação, em uma temperatura de 25 graus Celsius(298.2 graus kelvin), um sinal laser é aplicado no resistor filme interno e ele é trimado, e calibrado para fornecer na sua saída uma corrente de 298,2 μ A nesta temperatura.

Sua faixa de operação de temperatura é de -55 graus Celsius a +150 graus Celsius. Na PAD/CSA sua aplicação foi simples. Colocamos na saída do sensor um resistor de 10k Ω e medimos a tensão sobre este resistor que corresponde a 10mV/Kelvin. A relação deste sensor de temperatura com a tensão entregue ao microcontrolador fica:

⇒ 0 graus Celsius correspondem a 273,15 graus Kelvin que correspondem a 2,7315V.

⇒ 25 graus Celsius correspondem a 298,2 graus Kelvin que correspondem a 2,982V.

⇒ 27 graus Celsius correspondem a 300 graus Kelvin que correspondem a 3V.

O passo de saída é de 10mV / grau Kelvin.

3.8 Apresentação do sistema completo da PAD/CSA conectada ao CB e depois conectada com a placa ATmega/PC/Labview.

35

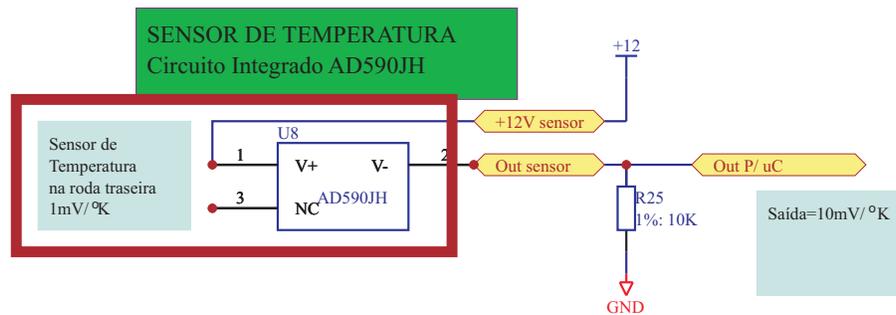


Fig. 3.12: Diagrama esquemático do circuito de medição de temperatura da PAD/CSA na ME.

3.8 Apresentação do sistema completo da PAD/CSA conectada ao CB e depois conectada com a placa ATmega/PC/Labview.

Nesta seção será apresentado o sistema com o projeto eletrônico completo. Será apresentado também um esboço do modelo apresentado no LCD e do modelo gravado no *pendrive* pelo CB. Na seção seguinte, apresentaremos um esboço do modelo apresentado na tela do microcomputador que usa o software Labview para receber os dados transmitidos pela placa ATmega depois de converter os dados recebidos da PAD/CSA em formato analógico para digital.

Na fig.(3.13), é mostrado o circuito eletrônico completo, com a ligação da bateria da ME, a fonte de alimentação de +5Vcc e +12Vcc, que alimenta toda a PAD/CSA e o CB, o sensor de corrente em série com a bateria e o circuito de amplificação do sinal do sensor de corrente, o circuito eletrônico de detecção de pico de corrente, e o circuito eletrônico de medição de velocidade e de temperatura. As saídas dos circuitos descritos anteriormente são ligadas ao CB.

3.9 Apresentação da interação da PAD/CSA com o CB.

Os sinais gerado pelos sensores de corrente, tensão de bateria, detecção de pico de corrente, velocidade e temperatura, depois de condicionados em uma formatação padrão de 0V a 5Vcc na PAD/CSA, são enviados ao CB, que interpreta estes sinais nas entradas analógicas e converte estes valores em formatação digital.

O CB inclui alguns dados recebidos do GPS interno, tais como o número da quantidade de satélite que ele recebe sinal, data, hora, e posicionamento geográfico, conforme a tabela (3.2). A cada cinco segundos alguns dados são apresentados no LCD, em formatação numérica decimal correspondente ao valor binário da conversão AD, tais como vistos na fig.(3.14): data, número de satélites, hora, tensão da bateria, corrente elétrica, detecção de pico de corrente, velocidade e temperatura. Tudo isso é gravado no *pendrive*, em uma formatação de texto que pode ser visualizada em qualquer programa que interprete a formatação .txt.

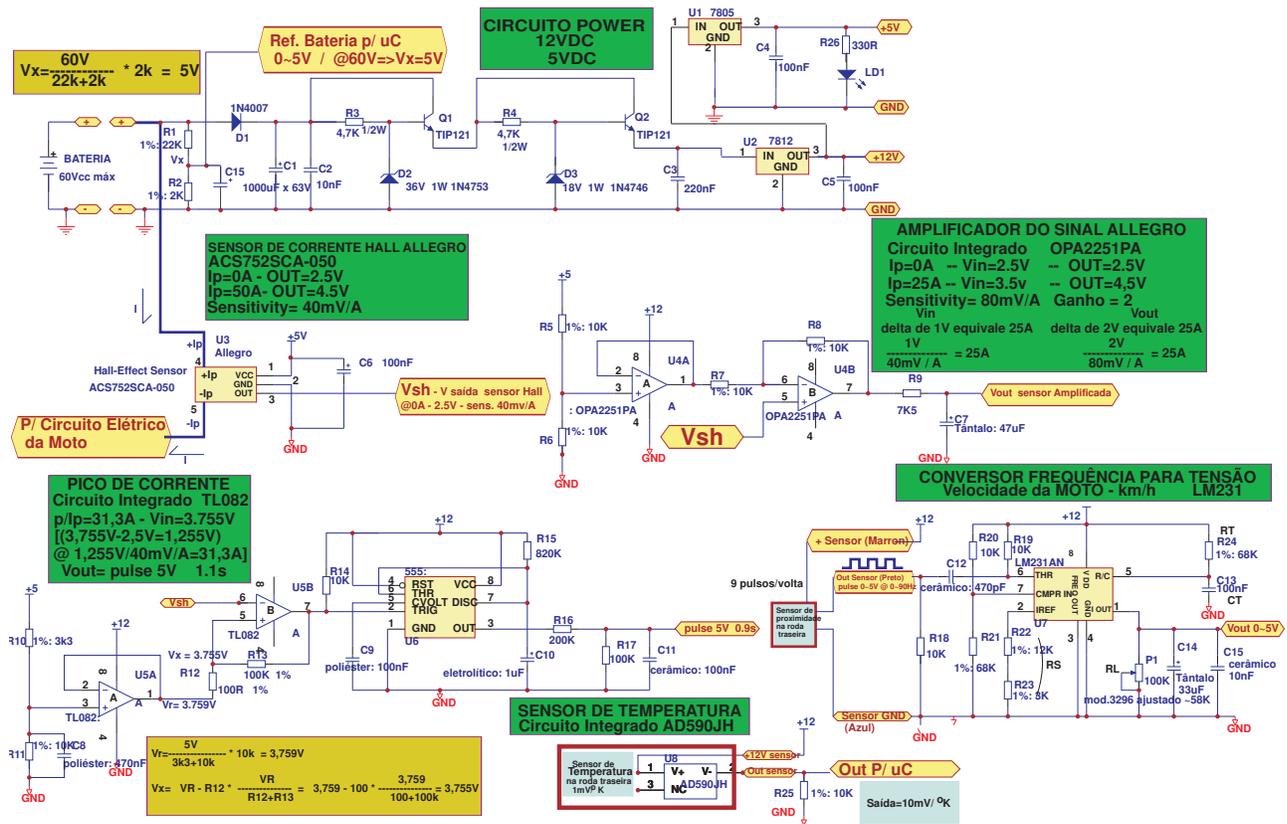


Fig. 3.13: Diagrama esquemático dos circuitos eletrônicos da PAD/CSA na ME.

Data	Hora	Alt.	Nº.Sat.	Lat.	Long.	VBat.	I.	Ip.	Vel.	Temp.
07/04/08	18:51:36	582.2	7	2244.2259	04719.0352	849	512	0	0	610
07/04/08	18:51:41	582.2	8	2244.2259	04719.0352	847	512	0	0	615
07/04/08	18:51:46	582.2	8	2244.2259	04719.0352	846	514	0	0	615
07/04/08	18:51:51	582.2	8	2244.2259	04719.0352	847	512	0	0	610
07/04/08	18:51:56	582.2	8	2244.2259	04719.0352	846	514	0	0	610

Tab. 3.2: Linhas de dados gravadas no pendrive e lidas em um computador

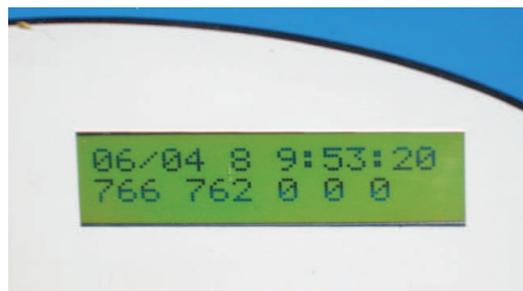


Fig. 3.14: Dados apresentados no LCD do CB.

3.10 Apresentação da interação da PAD/CSA com a placa ATmega que está interligada ao PC com software Labview para apresentar os dados em tempo real.

A placa ATmega é conectada à PAD/CSA através dos pinos do conversor A/D e ao computador através da porta serial. Assim que são coletados, os dados são convertidos de sinal analógico para digital, são enviados pela placa ATmega ao computador. O programa desenvolvido em Labview interpreta estes dados, e os apresenta em forma gráfica na tela do computador em tempo real.

Na fig.(3.15), vê-se o fluxograma do programa desenvolvido, e gravado no microcontrolador da placa ATmega para executar as tarefas descritas.

```

.....
'name          : FIRMWARE ATMEGA MOTO TESE NEO.bas
'copyright     : (c) 1995-2005, MCS Electronics
'purpose      : AQUISIÇÃO DE DADOS DA MOTO ELÉTRICA
'micro        : Core 2 duo
'suited for demo : yes
'commercial addon needed : no
'pull-up of 4K7 required to VCC from Portb.2
'DS2401 serial button connected to Portb.2
.....

$regfile = "m8535.dat
$crystal = 8000000

Dim Comando1 As String * 10          ' Dimensiona String De Tamanho 10
Dim Leitura(5) As Word              ' Dimensiona Leitura como Word
Dim I As Byte                       ' Dimensiona I como Byte

Open "comb.0:57600,8,n,1,INVERTED" For Output As #1 ' Nomeia Porta B.0 como output 1
Open "comb.1:57600,8,n,1,INVERTED" For Input As #2  ' Nomeia Porta B.1 como input 2

Config Adc = Single , Prescaler = Auto           ' Configura o Conversor AD - Single
'A numeric constant for the clock divider. Use AUTO to let the compiler generate the best value depending on the XTAL
Start Adc                                       ' inicializa o Conversor AD

Principal:                                     ' Rotina Principal
Input #2 , Comando1                          ' (string LER é enviada pelo Labview)
If Comando1 = "LER" Then Goto Ler              ' Pega valor entr. input 2(B.1)coloca na string Comando1
Goto Principal                               ' Compara o conteúdo da string Comando1 com a string"LER"
                                             ' Se positivo, vai para rotina LER,
                                             ' se não inicia rotina principal novamente
Ler:                                          ' Rotina LER

For I = 0 To 4
Leitura(i) = Getadc(i)                       ' Lê ADC0 e guarda em Leitura 0, ADC1 em Leitura1,
Next I                                       ' ADC2 em Leitura2, ADC3 em Leitura3 e ADC4 em Leitura4.

For I = 0 To 4
Print #1 , Leitura(i)                       '"Escreve" - Envia para PC através da Porta B.0(output)
Next I                                       'os valores das 5 Leituras feitas nos ADC's 0 à 4.
Goto Principal                               ' incrementa
                                             ' retorna a rotina principal

End                                          ' FIM

```

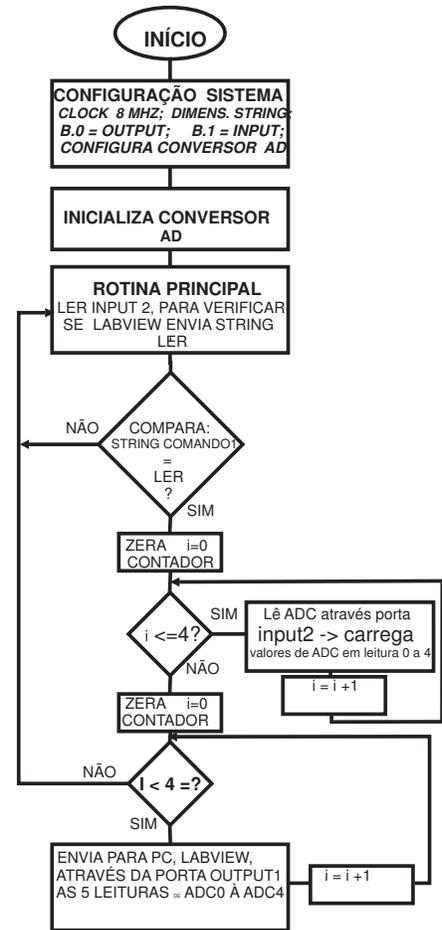


Fig. 3.15: Firmware gravado no microcontrolador da placa ATmega.

Na fig.(3.16) podemos ver o programa Labview plotando os dados recebidos do microcontrolador.

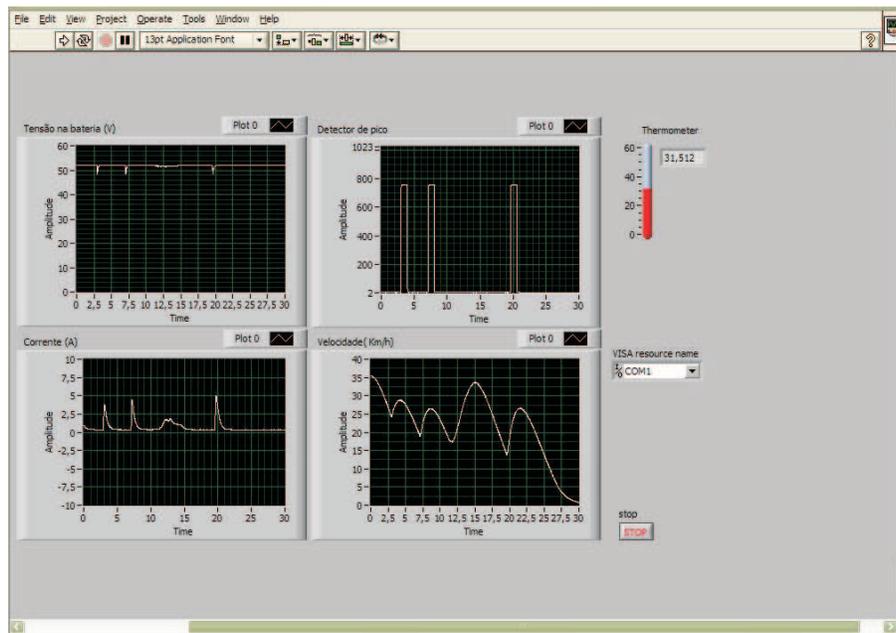


Fig. 3.16: Tela do programa em Labview que faz a aquisição de dados medidos na ME em tempo real.

3.11 Projeto do Sistema Testador de Bateria da ME em Laboratório.

No decorrer da pesquisa das MEs, houve necessidade de compra de novas unidades para substituição de várias baterias das MEs. Percebeu-se então a necessidade de desenvolver um sistema de teste de bateria em laboratório, com características semelhantes aos ciclos de carga e descarga da bateria das MEs, para verificar se as baterias eram de baixa qualidade, ou se a ME ou o carregador de bateria estariam por algum motivo, danificando e diminuindo sua vida útil, antes de ocorrer os ciclos de carga e descarga previstos pelo fabricante.

Era necessário construir um sistema que fosse confiável e estável, pois o sistema iria ficar vinte e quatro horas por dia funcionando, fazendo um monitoramento constante e sem interrupções na bateria.

O Projeto do Sistema Testador de Bateria (STB) da ME, foi desenvolvido com um microcomputador alimentado pela rede elétrica e acessado por um nobreak, para que não se perdessem os dados coletados no decorrer do teste, no caso de interrupção de energia. Neste microcomputador, com o software de programação Labview, versão 8.5, foi projetado um programa para gerenciar todo o sistema de teste da bateria, executando, assim a aquisição de dados e o acionamento do circuito eletrônico responsável por ligar o carregador da bateria e o circuito responsável em acionar a carga. A carga foi utilizada para consumir e dissipar a energia da bateria em teste, simulando uma viagem da ME. Este sistema também foi projetado para medir a tensão da bateria e gravá-la em forma de arquivo durante todo o teste. Estas medições eram feitas de um em um minuto durante todo o funcionamento do sistema, 24 horas por dia, até o esgotamento da bateria ou finalização do teste.

A fig.(3.17), mostra o diagrama de blocos do STB, com o PC conectado ao circuito eletrônico e

ao voltímetro, que fica medindo a tensão da bateria da ME testada.

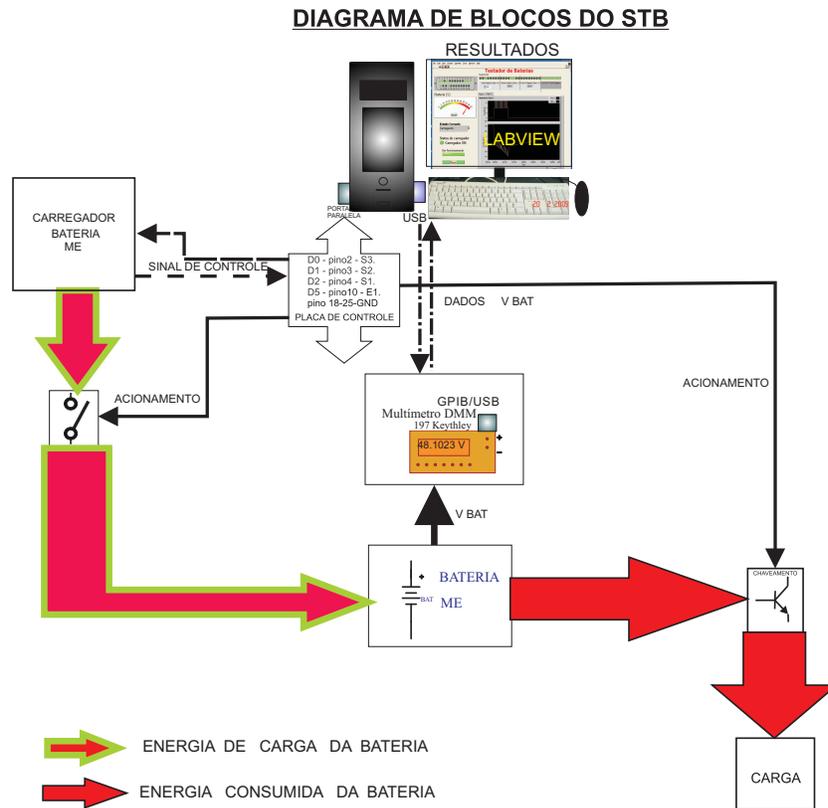


Fig. 3.17: Diagrama em blocos do STB.

Nesta seção, será apresentada todas as partes pertencentes ao projeto do sistema testador de bateria da ME, como ele foi desenvolvido e como funcionam os circuitos eletrônicos do projeto.

3.11.1 O Programa de Gerenciamento do Sistema Testador de Bateria Desenvolvido em Labview.

Pode-se ver na fig.(3.18), um diagrama básico do funcionamento geral do software desenvolvido com ferramentas do programa Labview 8.5, instalado no microcomputador utilizado no teste da bateria.

O programa desenvolvido, denominado de Testador de Bateria (TB), funciona como descrito a seguir.

O programa TB gerencia, liga e desliga os componentes do sistema, armazena e grava os dados.

O programa TB, com todos os componentes conectados, inicia-se na rotina carregando(1), assim o programa TB, através da porta paralela, liga o relé do circuito eletrônico que conecta o carregador a bateria e a mesma inicia a carga que tem duração de 6 a 8 horas, dependendo do valor da tensão da bateria no início da carga, isto é, pouco descarregada ou muito descarregada. Como utilizou-se uma bateria nova, ela estava com quase toda a sua capacidade de carga, assim a primeira carga levou menor tempo para chegar a carga completa.

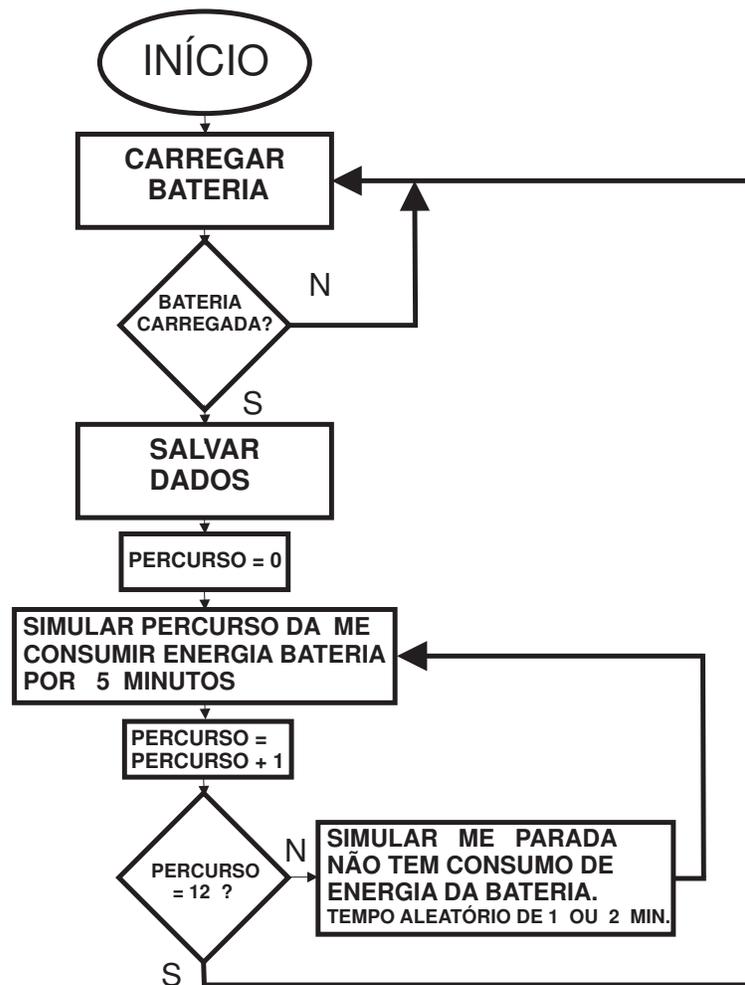


Fig. 3.18: Diagrama de funcionamento do programa sistema testador de bateria.

Durante todo o funcionamento do STB, o programa TB monitora constantemente o sinal do carregador da bateria, que correspondente ao bit 1 "ligado", quando a bateria estiver sendo carregada, e bit 0 "desligado", quando a bateria estiver totalmente carregada. Este sinal passa por um circuito optoacoplador e o sinal é isolado e invertido. Assim, quando a bateria estiver carregando, o programa Labview lê nível 0 e quando o programa Labview ler nível 1, significa que a bateria está carregada e o programa TB reconhece este sinal, sai da rotina carregando, desconecta o carregador da bateria e inicia a rotina seguinte. Esta comutação no carregador ocorre por volta de 58,85V, monitorado pelo programa através do valor recebido do multímetro conectado através de um cabo GPIB/USB ao micromcomputador.

Outra função muito importante do programa TB é o fato dele montar um array de dados a cada 1 minuto, onde são armazenados o estado da operação que está sendo executada no momento, (rodando(5), parado(3) ou carregando(1)), e o valor de tensão da bateria que está sendo medida no instante.

Terminado o estágio de carga da bateria, inicia-se a próxima rotina do sistema TB: o armazenamento dos dados. Esta rotina grava o array completo, todos os dados de estado, mais os dados do

valor medido da tensão da bateria a cada minuto. Estes dados são gravados com data no HD do microcomputador. Após a gravação dos dados do array no HD, o array é zerado e inicia novamente, armazenando dados de 1 em 1 minuto, até passar todos os estágios e fechar o ciclo do programa.

Caso ocorra qualquer erro, o programa registra e para.

O programa TB termina quando a bateria atinge o limite mínimo de carga em que o valor de tensão medido é de 44V, ou quando for solicitada uma parada do programa pelo botão "desliga", feito pelo usuário, ou também quando ocorrer algum erro.

As rotinas seguintes executadas pelo programa depois da rotina salva dados, são as rotinas rodando(5) e parado(3), que fazem a função da ME circulando em via urbana, alternando-se entre as duas por aproximadamente 1 hora. A rotina rodando(5) dura 5 minutos cada vez e a rotina parado(3) dura aleatoriamente 1 ou 2 minutos, simulando uma parada em uma esquina ou semáforo. Estas duas rotinas alternam-se por aproximadamente uma hora e, depois de terminado este ciclo inicia-se novamente com a rotina carregando(1).

Na rotina rodando(5), o programa envia sinal à placa eletrônica que conecta a bateria a uma carga, simulando a ME rodando.

Na rotina parado(3), existe uma comparação da tensão da bateria com um valor fixado a fim de encerrar o teste e o programa Labview, se a bateria atingir o valor determinado.

A fig.(3.19) mostra o painel frontal do programa TB. Podem-se ver os registros gráficos do estado do funcionamento do teste e a plotagem do valor da tensão da bateria. Vê-se também o valor instantâneo da tensão medido na bateria em forma analógica e digital, e o estado corrente do funcionamento do programa e, conseqüentemente, do sistema tais como o status do carregador, da porta paralela e o buffer do registrador da porta paralela.

3.11.2 Circuito eletrônico e Equipamentos utilizados no Projeto do Sistema Testador de Bateria

O projeto do circuito eletrônico do STB é composto de um circuito sensor de detecção de bateria carregada, circuito de conexão do carregador na bateria e circuito de conexão da carga na bateria.

O circuito sensor de detecção de bateria carregada recebe o sinal do carregador da bateria e através da porta paralela, pino D5, o programa lê o sinal da saída E1 do circuito eletrônico e verifica se a bateria está com carga completa ou não. O circuito eletrônico de conexão do carregador na bateria é composto de um circuito de acionamento de relé que, na rotina carregando(1), conecta o carregador na bateria para ser carregada. O circuito eletrônico de conexão da carga na bateria é composto por um circuito que, na rotina rodando(5), é responsável por acionar, através do pino D1, a chave eletrônica feita de transistor mosfet, que conecta a carga na bateria até que a rotina parado desligue a carga da bateria.

A tensão da bateria é medida por um voltímetro de precisão da marca Keythley e, através da sua porta GPIB conectada a um cabo GPIB/USB, envia os valores medidos ao programa TB.

Na rotina carregando, a bateria é carregada pelo carregador original do fabricante. Sua carga completa dura entre 6 a 8 horas. A corrente de carga inicia-se com 2,3A e vai diminuindo gradativamente, até zerar.

Na rotina rodando, o programa envia sinal à placa eletrônica que conecta a bateria a uma carga, ajustada para consumir da bateria uma corrente elétrica de 12,5A a 15A.

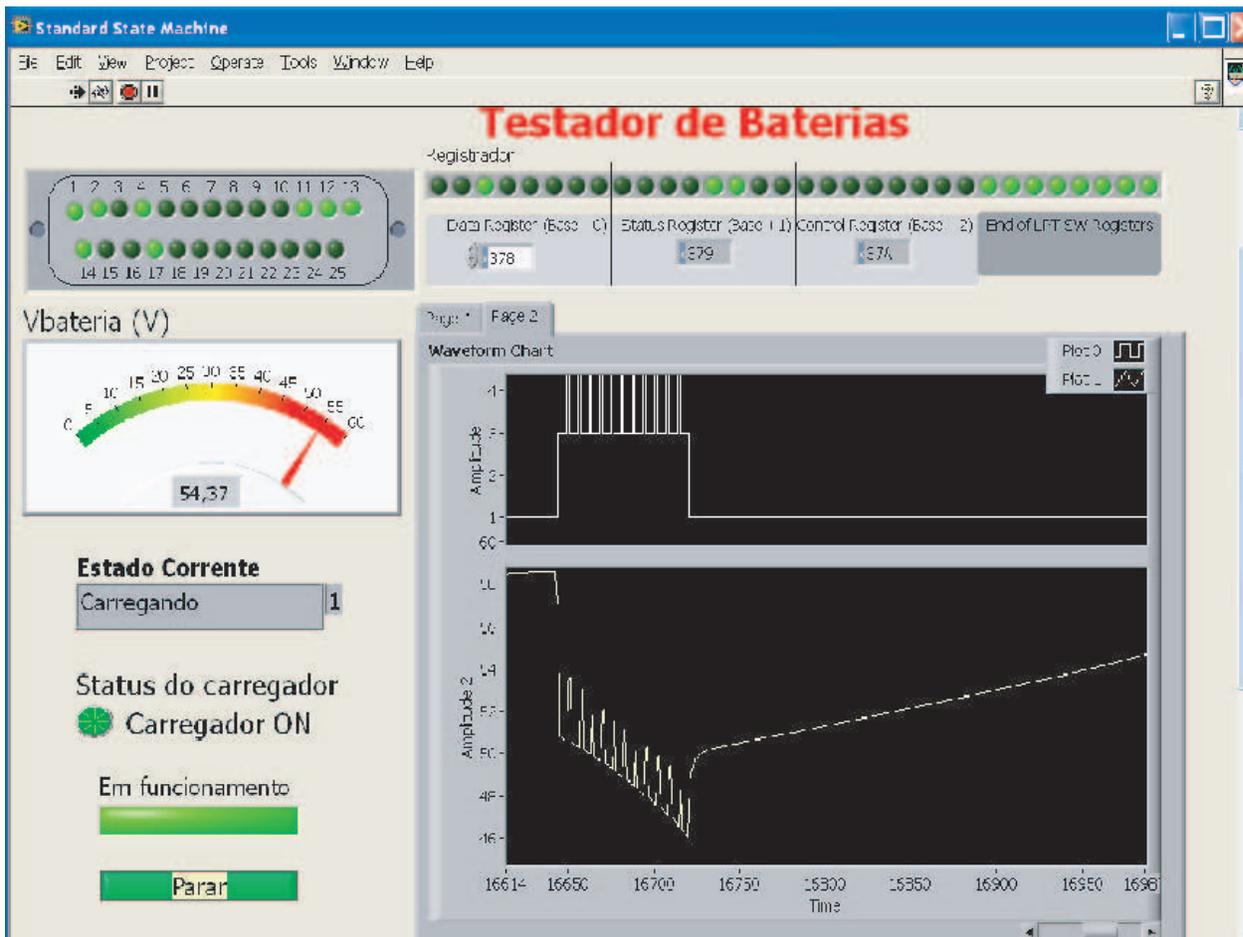


Fig. 3.19: Tela do Programa Testador de Bateria - Labview.

Na rotina parado, existe uma comparação da tensão da bateria com um valor fixado em 44V, para que o teste seja finalizado se a bateria atingir esse valor.

O projeto completo do STB pode ser visto na fig.(3.20) e (3.21), onde pode-se ver as ligações da bateria da ME entre a carga e o carregador, a fonte de alimentação do circuito eletrônico, o circuito sensor de carga completa, o circuito de acionamento conectando as cargas na bateria e o circuito de acionamento que conecta o carregador na bateria.

No capítulo(4), serão apresentados os testes, as calibrações feitas e os resultados obtidos.

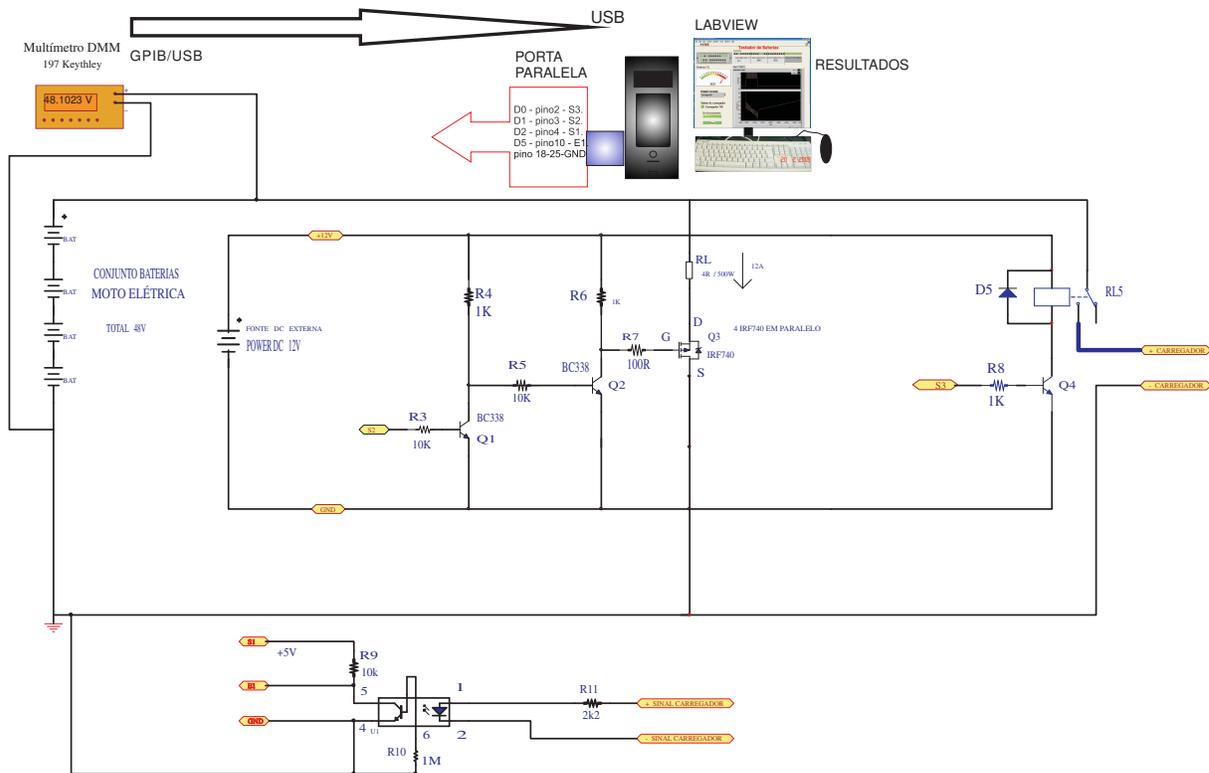


Fig. 3.20: Diagrama esquemático dos circuitos eletrônicos do STB.

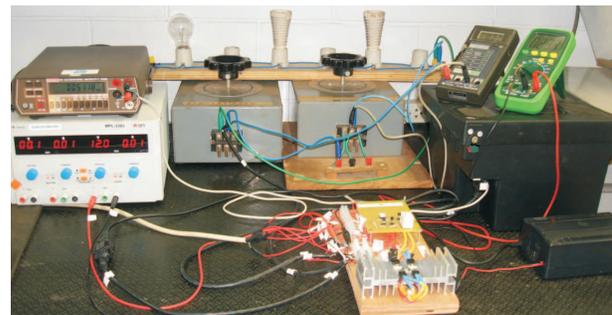
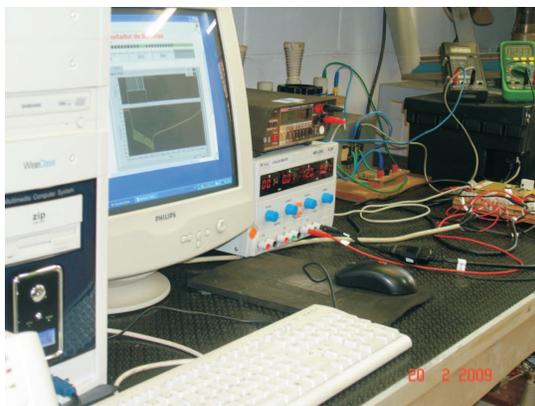


Fig. 3.21: Foto do STB - Todos componentes do sistema juntos.

Capítulo 4

Resultados Experimentais

A pesquisa feita com as MEs foi desenvolvida em etapas, dentro destas, destacaram-se alguns pontos importantes que consideram-se os principais do estudo.

Na etapa do projeto e desenvolvimento da PAD/CSA, durante a definição dos parâmetros a serem medidos, os principais destaques foram a caracterização do sensor de corrente, medidor de RPM e velocidade e a calibração da placa de aquisição de dados desenvolvida.

Na etapa de operação do conjunto de MEs, com monitoração, aquisição dos dados, análise de trajetos e avaliação dos parâmetros medidos, destacam-se alguns parâmetros medidos tais como a diferença do consumo de energia e as vantagens e desvantagens da utilização das MEs com um ou com dois motores ligados ao mesmo tempo. Nesta etapa também destacam-se medidas do valor da tensão da bateria após algum tempo de sua utilização e o tempo de sua vida útil.

4.1 Resultados dos parâmetros medidos durante projeto e calibração da PAD/CSA.

Os circuitos de medição e condicionamento de sinais da PAD/CSA foram calibrados e os valores serão apresentados em gráficos no decorrer desta seção.

4.1.1 Sensor de efeito Hall

Durante o projeto da PAD/CSA foi feita a caracterização dos sensores de corrente Hall modelo ACS752SCA-050 utilizados nas MEs. Na fig.(4.1) é apresentado o gráfico gerado com os valores calculados e os valores medidos da tensão de saída em função da corrente elétrica primária aplicada, valores estes obtidos de um dos sensores testados. Tem-se plotado neste mesmo gráfico os valores calculados e medidos da saída V_{out} do amplificador do sinal de VSH. Pode-se notar que a tensão VSH varia somente de 1,25V a 3,75 Volts e a tensão V_{out} varia de 0 a 5V para variação de corrente primária de -31A a +31A, que são valores suficientes para medir os valores máximos e mínimos de corrente de consumo da ME. A tensão V_{out} que será entregue ao microcontrolador opera com a faixa de 0Vcc a 5Vcc, como necessário ao conversor A/D do microcontrolador do CB e da placa microcontrolada.

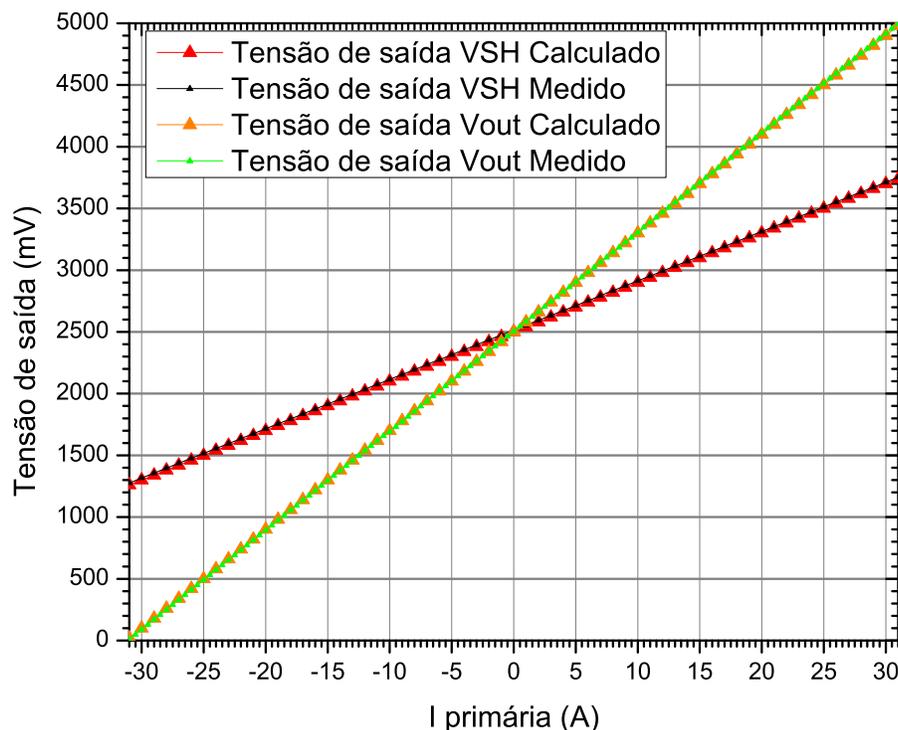


Fig. 4.1: Gráfico da caracterização de um sensor ACS752SCA-050 em Laboratório.

4.1.2 Tensão da Bateria

O outro parâmetro medido pela PAD/CSA é a tensão da bateria, sendo que o circuito de aquisição foi caracterizado em laboratório. Apresenta-se na fig.(4.2) o gráfico gerado com os valores medidos na saída de tensão de referência da bateria em função da tensão da bateria, onde foi variado o valor da tensão da bateria ligada a PAD/CSA em laboratório de 45Vcc a 60Vcc.

4.1.3 Circuito detector de pico

A próxima caracterização foi feita no circuito detector de pico de corrente, que foi calibrado para atuar quando a corrente no motor da ME ultrapassasse 31A. Foi feito ensaio com a ME, onde foi ajustado o circuito para detectar pico de corrente elétrica acima do valor de 25A. Apresenta-se na fig.(4.3) a imagem de um pulso gerado no circuito detector de pico de corrente. Este pulso gerado tem amplitude de 5 volts e duração de 1,1 segundos. Ele é enviado ao CB que registra o evento de sobrecorrente.

4.1.4 Velocidade da ME

A velocidade da ME é outro parâmetro medido, pela PAD/CSA, através do sensor de proximidade instalado na roda traseira da ME. Através deste sensor foi possível obter um sinal de tensão (pulsos) proporcional à rpm do motor e através do circuito conversor Frequência x Tensão (FxT) da PAD/CSA ligado a ele, foi possível obter valores de tensão proporcionais a velocidade da ME. Na fig.(4.4)

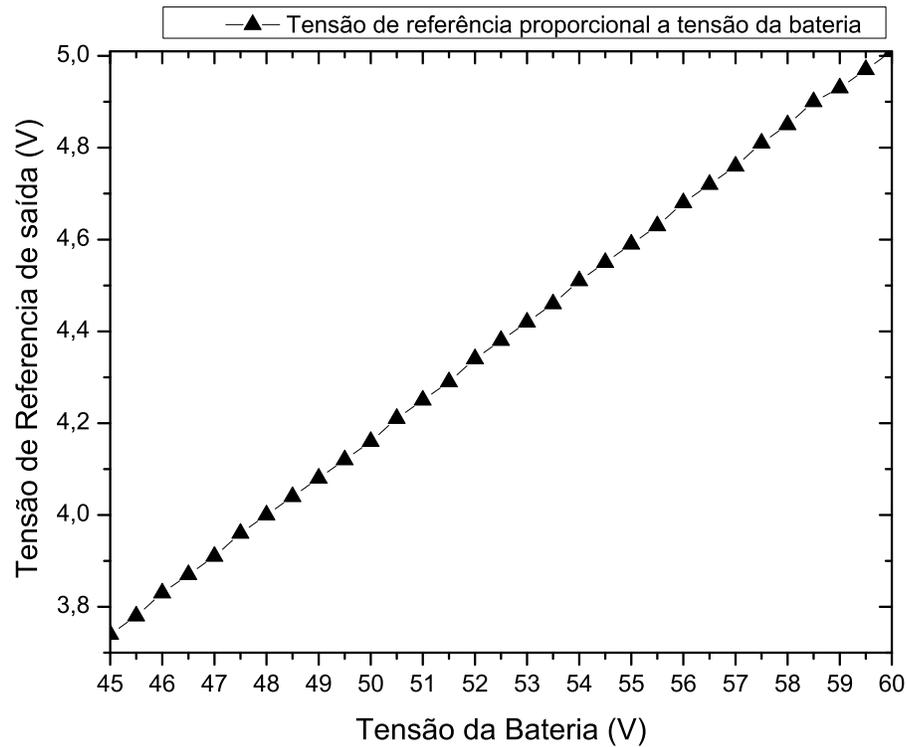


Fig. 4.2: Gráfico da caracterização da tensão de referência da bateria em Laboratório.

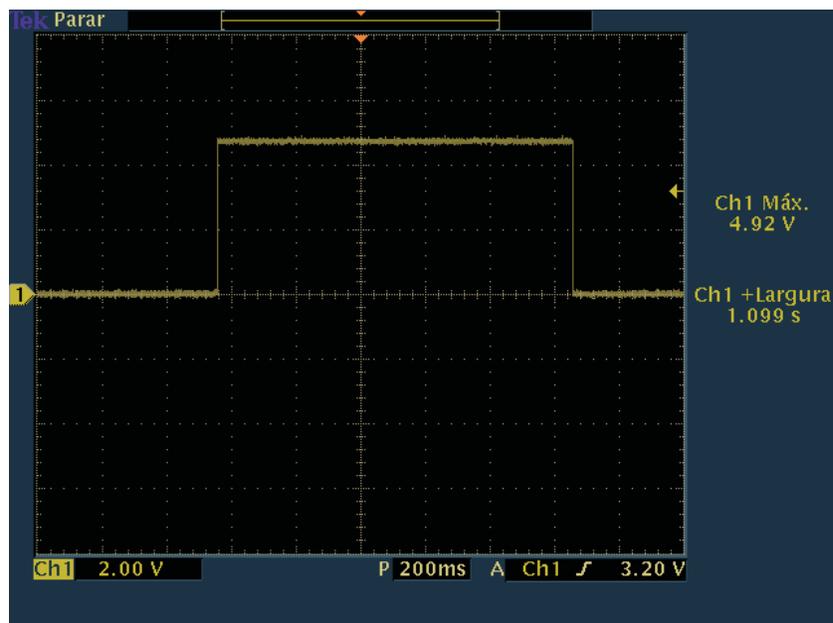


Fig. 4.3: Gráfico da saída do circuito detector de picocorrente medido com osciloscópio em Laboratório.

tem-se um gráfico da caracterização feita do conversor FxT, onde tem-se a relação entre a frequência

do sinal coletado no sensor instalado na roda da ME e o valor de tensão proporcional medido na saída do conversor FxT. Esta tensão é enviada ao conversor A/D do CB e, depois de gravada, no *pendrive* é feito a análise dos dados no computador.

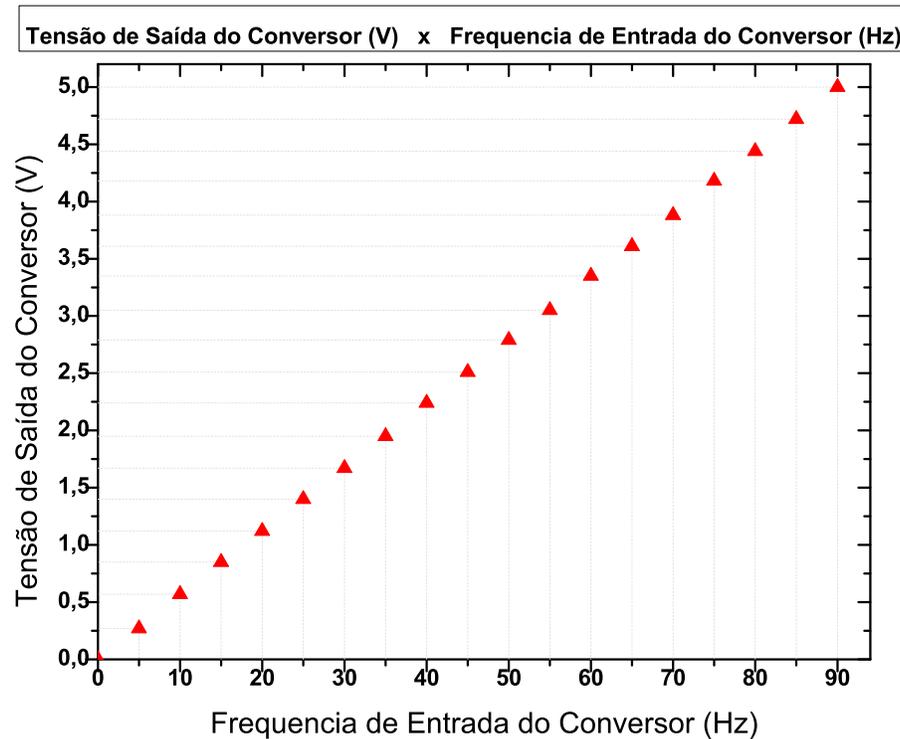


Fig. 4.4: Gráfico da caracterização do medidor de velocidade da PAD/CSA.

Na tabela (4.1), tem-se o valor da Velocidade da ME(Km/h) proporcional à Frequência de entrada e à Tensão de Saída do Conversor FxT.

Na fig.(4.5) tem-se outras imagens das telas do osciloscópio dos sinais medidos na saída do sensor e na saída do conversor FxT. As duas leituras feitas com velocidade real de 18,58Km/h e 41,84Km/h, tinham indicação no velocímetro da ME de 21Km/h e 45Km/h, respectivamente, mostrando que realmente o equipamento que vem instalado na ME para medir a velocidade não é preciso.

Outro método de medir velocidade da ME, e que foi utilizada em todas as MEs, foi feito através de uma medida indireta, usando os dados fornecidos pelo circuito de GPS do CB conectado a PAD/CSA.

Na fig.(4.6) tem-se o gráfico comparativo da velocidade da ME medido pelo circuito de velocidade instalado na ME através do sensor de pulso + circuito conversor FxT da PAD/CSA comparado com a velocidade medida indiretamente pelo GPS. Comparando as duas medidas, pode-se notar a acuidade obtida com os dois métodos utilizados. O GPS do CB recebe os sinais dos satélites e fornece as medidas de velocidade, porém pode ocorrer alguns pontos em que estes valores são perdidos, devido a perda de sinal de satélites.

Freq. Entrada do Conversor FxT(HZ)	Tensão Saída do Conversor FxT (V)	Velocidade da ME (Km/h)
0	0	0
5	0,27	3,11
10	0,57	6,44
5	0,85	9,6
20	1,12	12,66
25	1,4	15,82
30	1,67	18,88
35	1,95	22,04
40	2,24	25,32
45	2,51	28,37
50	2,79	31,54
55	3,05	34,48
60	3,35	37,87
65	3,61	40,81
70	3,88	43,86
75	4,18	47,02
80	4,44	50,19
85	4,72	53,35
90	5	56,52

Tab. 4.1: Velocidade da ME proporcional à Frequência de entrada e à tensão de saída do Conversor FxT.

4.2 Resultados dos parâmetros medidos da ME em laboratório com a PAD/CSA conectada à placa microcontrolada e ao programa Labview.

Foi desenvolvido um sistema para medir e testar alguns parâmetros da ME com visualização via Labview. Os valores medidos da tensão da bateria, corrente elétrica consumida, pico de corrente, velocidade da ME e temperatura do motor ou do compartimento de onde se encontrava a PAD/CSA instalada na ME, eram convertidos de sinal analógico para digital pela placa microcontrolada e transmitidos os para o programa feito em Labview e apresentados no monitor do computador.

De acordo com o estudo feito "online", foi possível analisar vários parâmetros que eram necessários. Foi possível verificar que o motor não aquecia e que a temperatura do compartimento onde a PAD/CSA foi instalada não elevava a ponto de poder causar algum dano à PAD/CSA ou à ME.

Este estudo feito no início das pesquisas, através dos dados coletados para análise deu-se embasamento técnico para seguir os estudos e em seguida pode-se implementar nos kits PAD/CSA nas MEs

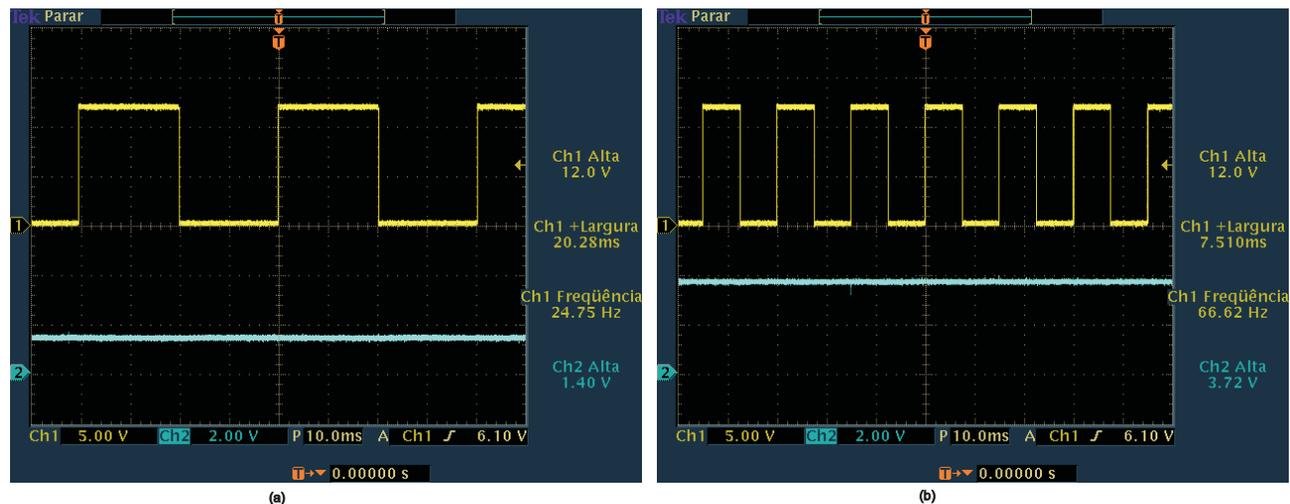


Fig. 4.5: Resultado medido para o sensor de RPM instalado nas motos, para velocidades de (a) 15,58 km/h ; (b) 41,84 km/h.

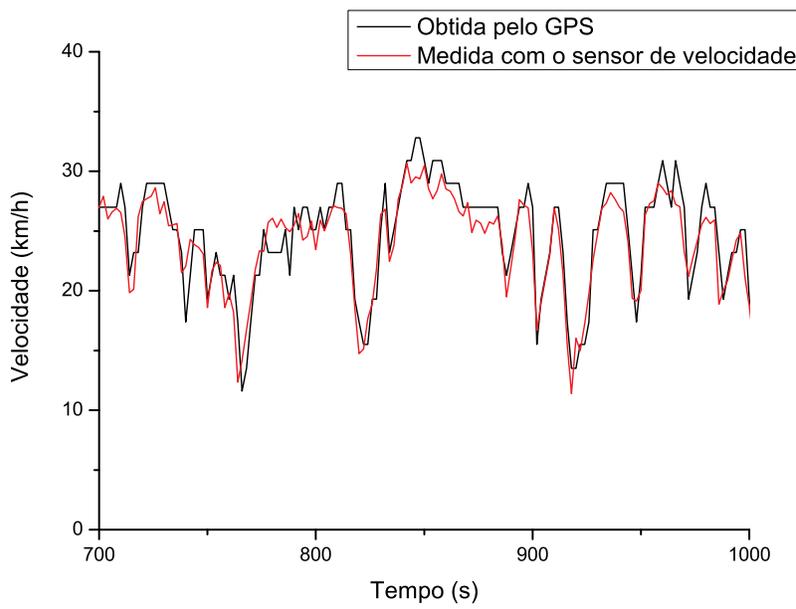


Fig. 4.6: Gráfico comparativo da velocidade da ME, entre medidas feitas pela PAD/CSA e GPS.

estudadas.

Na fig.(4.7), apresenta-se os gráficos gerados das medidas coletadas durante um teste efetuado em laboratório com uma ME. Esta PAD/CSA estava ajustada para detectar pico de corrente em 25A. Pode-se notar que no início da aceleração, ocorre a detecção de um pico de corrente. A corrente consumida neste ponto era de aproximadamente 25A e a temperatura do motor era de 29,3 graus

Celsius. A tensão da bateria durante este teste estava em torno 50V.

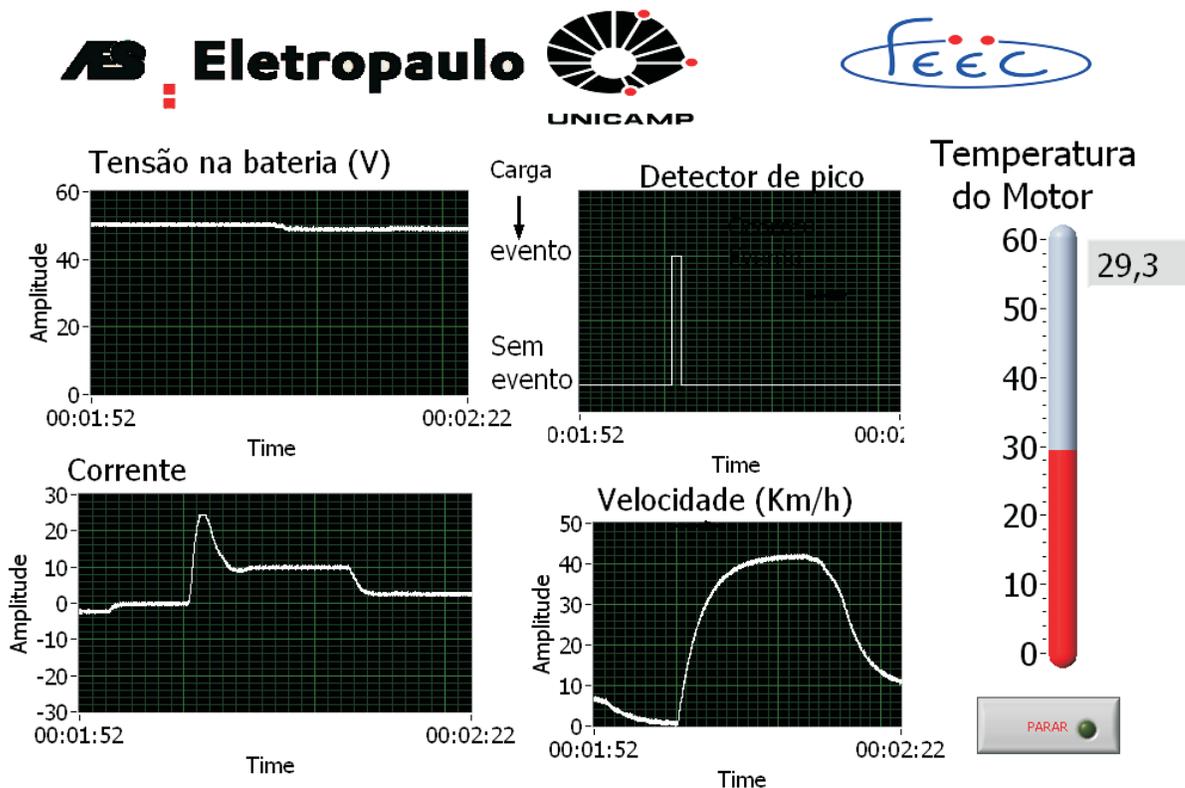


Fig. 4.7: Imagem do programa desenvolvido em Labview mostrando os valores medidos da ME, através da PAD/CSA e placa microcontrolada.

4.3 Resultados dos parâmetros medidos durante a operação do conjunto de MEs, com monitoração, aquisição dos dados, análise de trajetos e avaliação dos parâmetros medidos

4.3.1 Resultados dos parâmetros medidos na Unicamp

Foram feitos testes com as MEs que situavam-se na Unicamp durante as pesquisas. Era feito todo o tipo de percurso e depois era escolhido para análise um percurso que continha ruas planas, subidas e descidas para verificar o desempenho das MEs nas diversas situações e na Fig.(4.8) é apresentado o percurso de um dos testes realizados. Esta figura mostra o mapa da Unicamp tirado do software GPS TracMaker. O percurso executado pela ME foi plotado automaticamente no mapa através da

4.3 Resultados dos parâmetros medidos durante a operação do conjunto de MEs, com monitoração, aquisição dos dados, análise de trajeteto e avaliação dos parâmetros medidos 51

importação do arquivo com dados gravados pelo CB da ME. Os pontos brancos no traçado preto e os pontos pretos no traçado amarelo significam os pontos do trajeto em que os dados foram gravados. Este percurso tinha ruas planas, subidas e descidas para que a ME circulasse durante o teste passando por situações em que o motor e a bateria poderiam ser exigidos torque, esforço e em casos que o motor não sofresse nenhum esforço, como no caso de descida acentuada, onde a bateria chegava até a ser carregada pela energia gerada nos motores. A seguir será apresentado os resultados obtidos de algumas medidas feitas durante este teste.

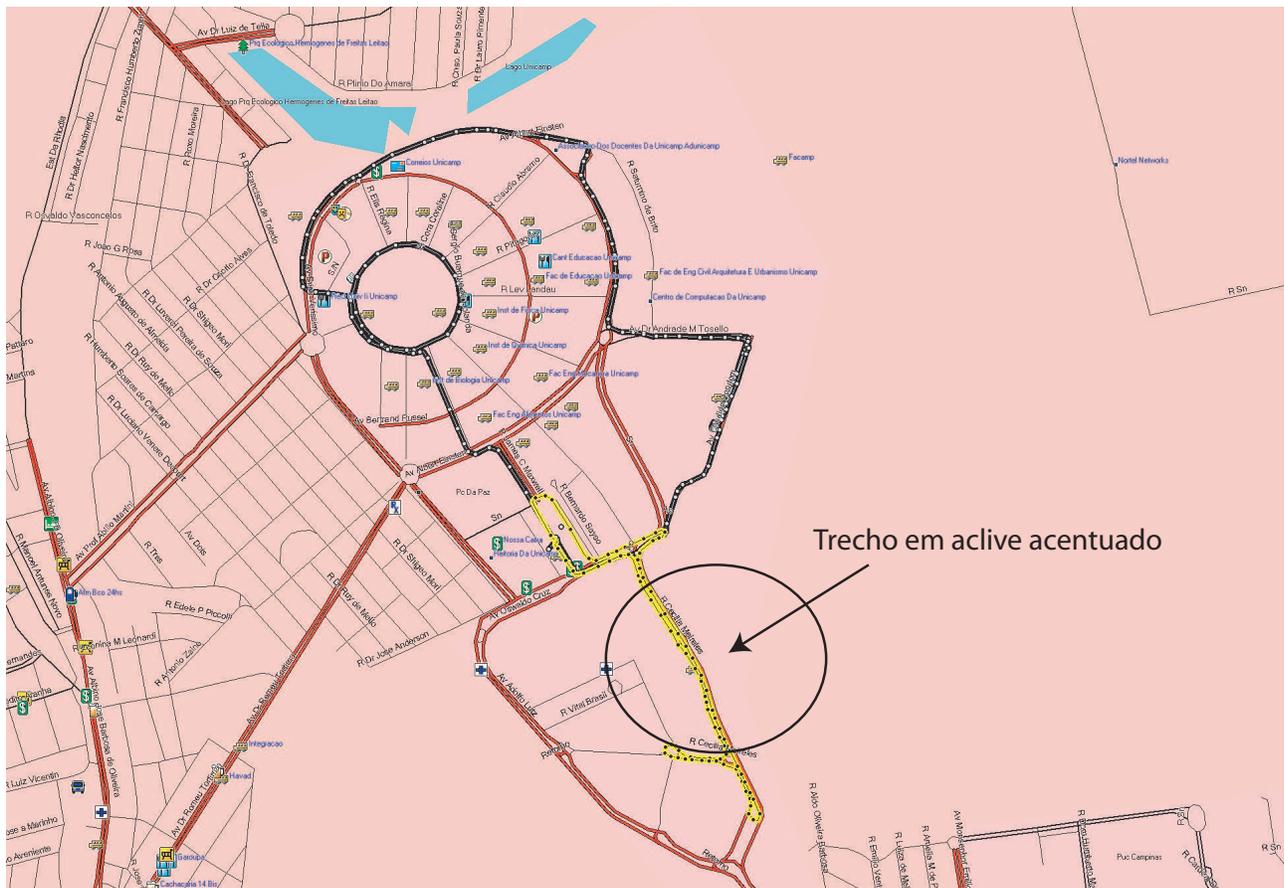


Fig. 4.8: Gráfico mostrando o percurso de um dos testes executado dentro do campus da Unicamp.

O resultado apresentado na fig.(4.9) é um gráfico onde vê-se a velocidade da moto e a corrente nos motores. É interessante notar que, para a maior parte do percurso, a corrente nos motores aumenta com a velocidade da moto. Entretanto, como vê-se na Fig.(4.10), que é uma ampliação de um dos trechos do gráfico da Fig.(4.9), vemos que, neste trecho (de cerca de 120 segundos, de aproximadamente 1300 s até 1410 s), a corrente da moto é a máxima possível no sistema, enquanto que a velocidade era praticamente zero. Após análise dos dados, foi notado que no trecho foi uma subida razoavelmente acentuada, onde a moto quase não tinha torque para subir, tendo sido exigido o máximo do motor. Pela medida de altitude do GPS, pode-se ver no gráfico da Fig.(4.11) o relevo do percurso.

Nota-se que quando a ME é colocada em "ponto morto" ou está andando por inércia (sem atuação

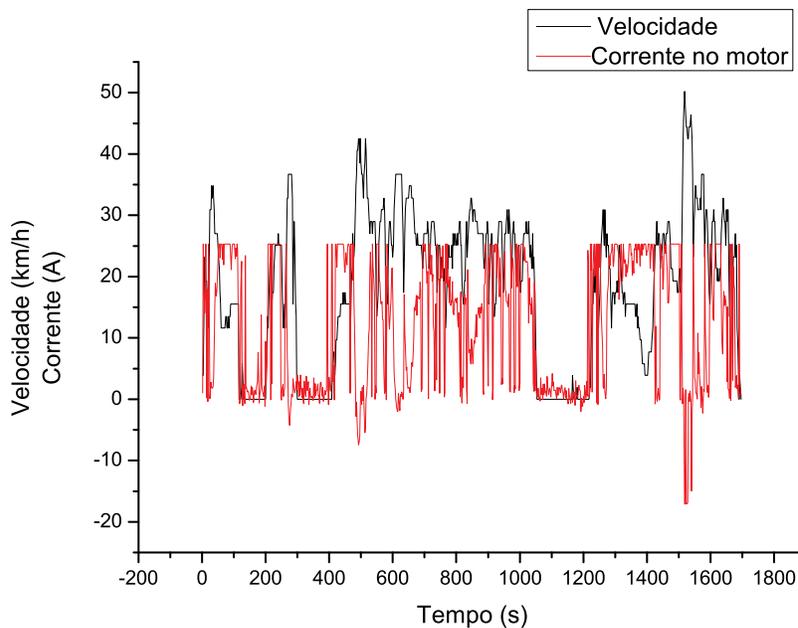


Fig. 4.9: Gráfico mostrando a velocidade e a corrente nos motores da moto durante o percurso.

no acelerador), como o motor é acoplado diretamente à roda, o motor funciona como gerador, e carrega a bateria durante estes curtos períodos.

Isso é fácil de ser visto no gráfico da fig.(4.12), onde vemos vários trechos onde o valor da tensão na bateria aumenta. Este gráfico mostra o valor da tensão na bateria durante todo o percurso.

No gráfico da fig.(4.13), tem-se a distribuição em porcentagem dos valores da corrente elétrica da ME durante o percurso analisado. Nota-se que em grande parte deste percurso, a corrente elétrica consumida foi abaixo de 5A o que caracteriza que a ME estava em repouso ou em uma descida e estava com mais de 20 A caracterizando estar em máxima aceleração, na maioria do percurso. Na maior parte do percurso são utilizados os dois motores da ME, pois quando é ligado somente um dos dois motores a ME apresenta baixa potência dificultando a locomoção em trechos de subida.

No gráfico da fig.(4.14), tem-se a distribuição em porcentagem dos valores da velocidade da ME durante o percurso analisado. Pode-se notar que na maior parte do tempo de percurso, a ME circulou com velocidade abaixo de 35Km/h. O valor máximo atingido pela ME foi de 50Km/h, conforme visto no gráfico da fig.(4.10).

Na fig.(4.15), tem-se uma imagem tirada do google earth, onde foi plotado um outro percurso executado pela ME na Unicamp. O percurso plotado no mapa na cor azul foi gerado importando no google earth o arquivo com extensão gpx. O arquivo com extensão gpx foi gerado através da conversão do arquivo de dados gravados pelo CB da ME no software GPS TrackMacker. Isto demonstra que os dados do GPS gravados pelo CB no *pendrive*, podem ser utilizados em vários softwares livres para análises.

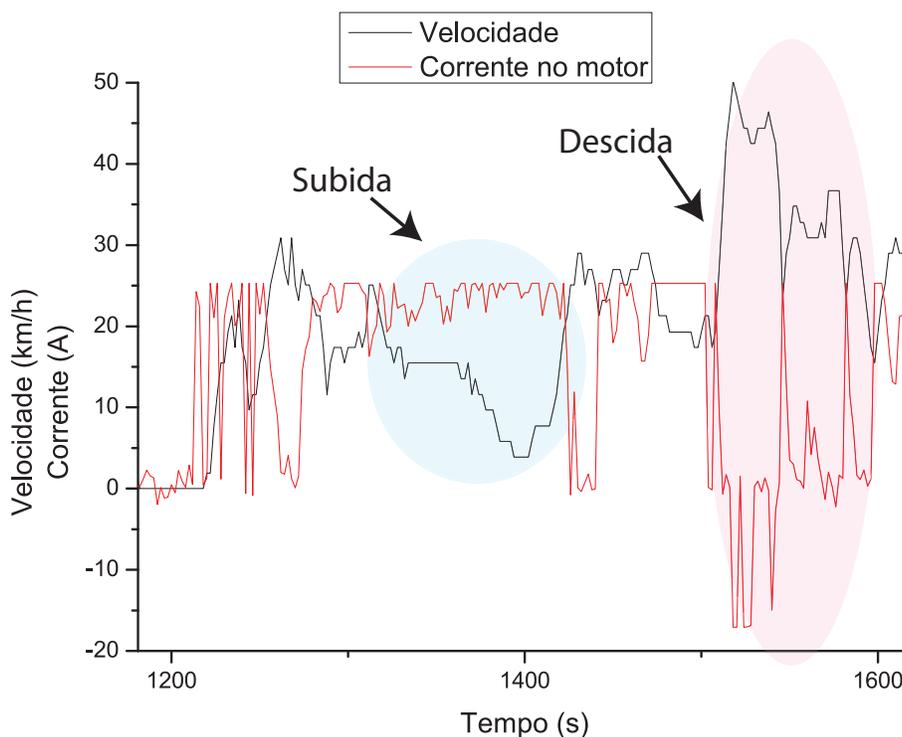


Fig. 4.10: Gráfico mostrando um detalhe da velocidade e da corrente nos motores, para um trecho em aclave e declive acentuado no percurso realizado.

4.3.2 Resultados dos parâmetros medidos em SP

Os testes com as MEs em São Paulo, iniciaram em março de 2008. Inicialmente as instalações do sistema foram feitas em duas MEs. Estas duas MEs percorreram vários trajetos em SP e os dados coletados eram enviados para serem analisados. Será apresentado alguns dados de um percurso. Este percurso é considerado relativamente grande, pois a distância percorrida pela ME é de 21,4Km.

Na fig.(4.16) observa-se um mapa com trajeto percorrido pela ME. Este mapa foi tirado do google earth, que foi plotado o trajeto da ME com a importação dos dados. No total foi percorrido 21,4Km e foi plotado na cor vermelha.

Com os dados coletados, era possível fazer várias análises, por exemplo, analisar a velocidade média durante o percurso, o tempo que a ME ficou parada ou circulando, o tempo que a ME ficou parada carregando a bateria, o consumo da corrente elétrica e a variação da tensão da bateria durante 24horas por dia.

Em julho de 2008 foram instalados kits nas outras seis MEs e muitos dados foram coletados. Outro aluno do DEMIC/FEEC/UNICAMP, desenvolveu um programa capaz de limpar as imperfeições dos dados coletados e gravados no *pendrive* e até gerar gráficos estatísticos como mostrado a seguir. Assim era possível fazer análise comparativa com ambas MEs.

Na fig.(4.17), tem-se um exemplo dos gráficos gerados pelo programa desenvolvido. A análise dos dados fica de uma forma mais fácil de analisar. A quantidade de informação gravada por ME por dia era muito alta e a análise de dados com todas estas informações recebidas sem nenhum programa automático de geração de gráficos era quase que impossível fazer, assim com este programa ficou

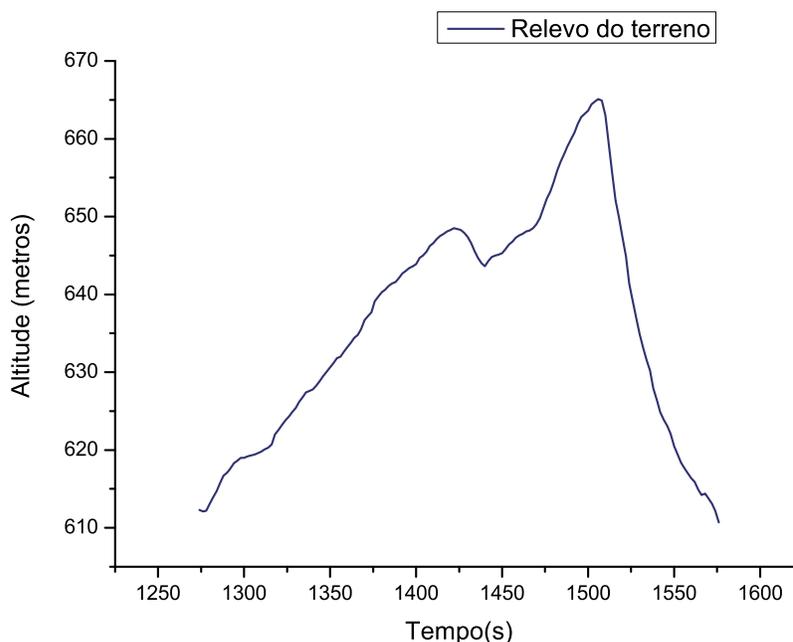


Fig. 4.11: Gráfico mostrando a variação da altitude do solo no trecho onde a corrente no motor era a máxima e a velocidade era praticamente zero.

melhor para fazer a análise. Pode-se observar no lado (a) do gráfico, que a corrente elétrica ficou quase que 70% do tempo negativa, de 0A a -5A, isto significa que a ME ficou parada e com a bateria carregando todo este tempo. No centro da figura, tem-se os gráficos (b), que pode-se observar que neste dia a bateria não foi carregada e sua tensão atingiu patamares menores de que 46V. No lado direito da figura, tem-se os gráficos (c), e pode-se notar que a ME ficou parada carregando por aproximadamente 30% do tempo e parada sem carregar a bateria por aproximadamente mais 30% do tempo, assim os 40% do tempo restante do dia, ela ficou rodando e a velocidade em que a ME permaneceu em maior parte de seu percurso foi entre 15km/h e 20km/h.

4.4 Resultados do teste feito na bateria nova da ME em laboratório

Nesta seção apresenta-se os resultados do teste feito com uma bateria nova, simulando a descarga da bateria em percurso com a ME com um motor apenas ligado, com consumo médio de 15A. Para a carga da bateria utiliza-se o carregador original na ME conectado automaticamente pelo sistema até atingir a carga máxima da bateria em cada ciclo.

Da tabela(4.2) pode-se observar os limites de descarga profunda para o tipo de bateria utilizada. Nota-se que, o limite de tensão para que a descarga atinja mais de 70% do valor original da carga disponível é de 47,26 V. A partir deste ponto o uso da bateria pode comprometer demais a sua dura-

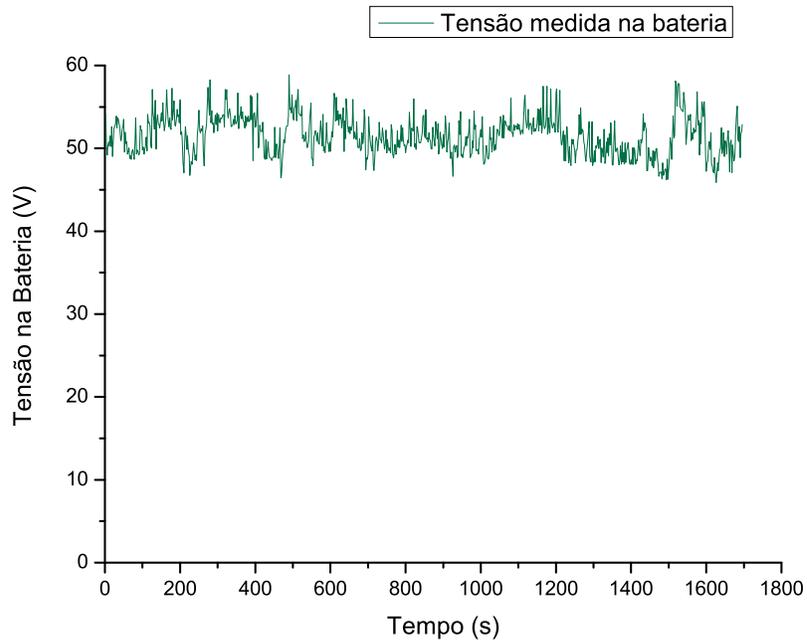


Fig. 4.12: Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante o teste realizado.

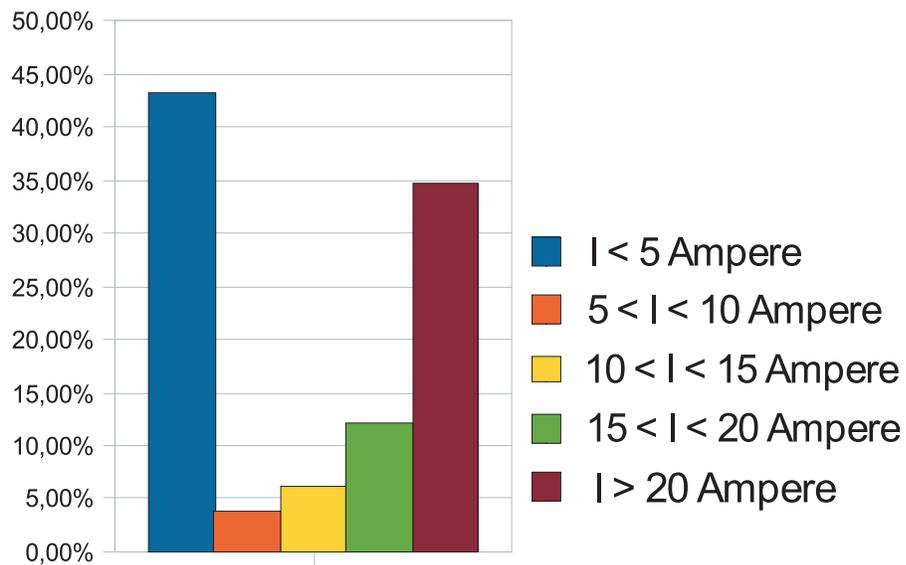


Fig. 4.13: Gráfico da distribuição da corrente elétrica na ME, por faixa de operação.

bilidade e o seu desempenho, e quando chega-se a 20% da carga (o que corresponde a 46,63 V), a bateria deve ser desconectada da carga imediatamente e colocada para recarregar.

Nos testes feitos de carga e descarga na bateria da ME com monitoramento em laboratório, foi

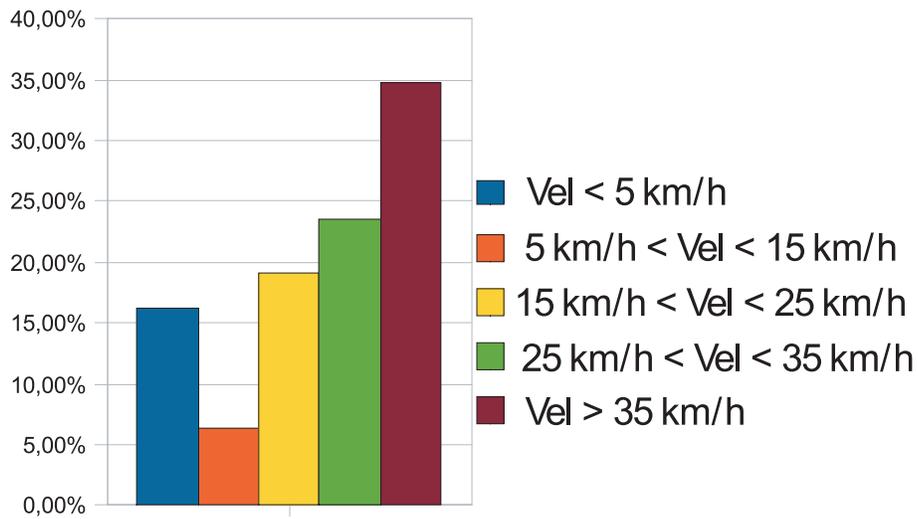


Fig. 4.14: Gráfico da distribuição da velocidade da ME, por faixa de operação.



Fig. 4.15: Percurso ME feito na Unicamp, plotado no google earth.

simulado continuamente 24 horas por dia a carga e depois descarga da bateria como se fosse feito percursos com a ME em ruas da cidade. Cada percurso (descarga da bateria), durava 60 minutos com paradas de 1 ou 2 minutos aleatoriamente a cada 5 minutos de percurso dentro dos 60 minutos, circulando com 1 motor apenas ligado, com consumo de 15A. Após cada percurso a bateria era

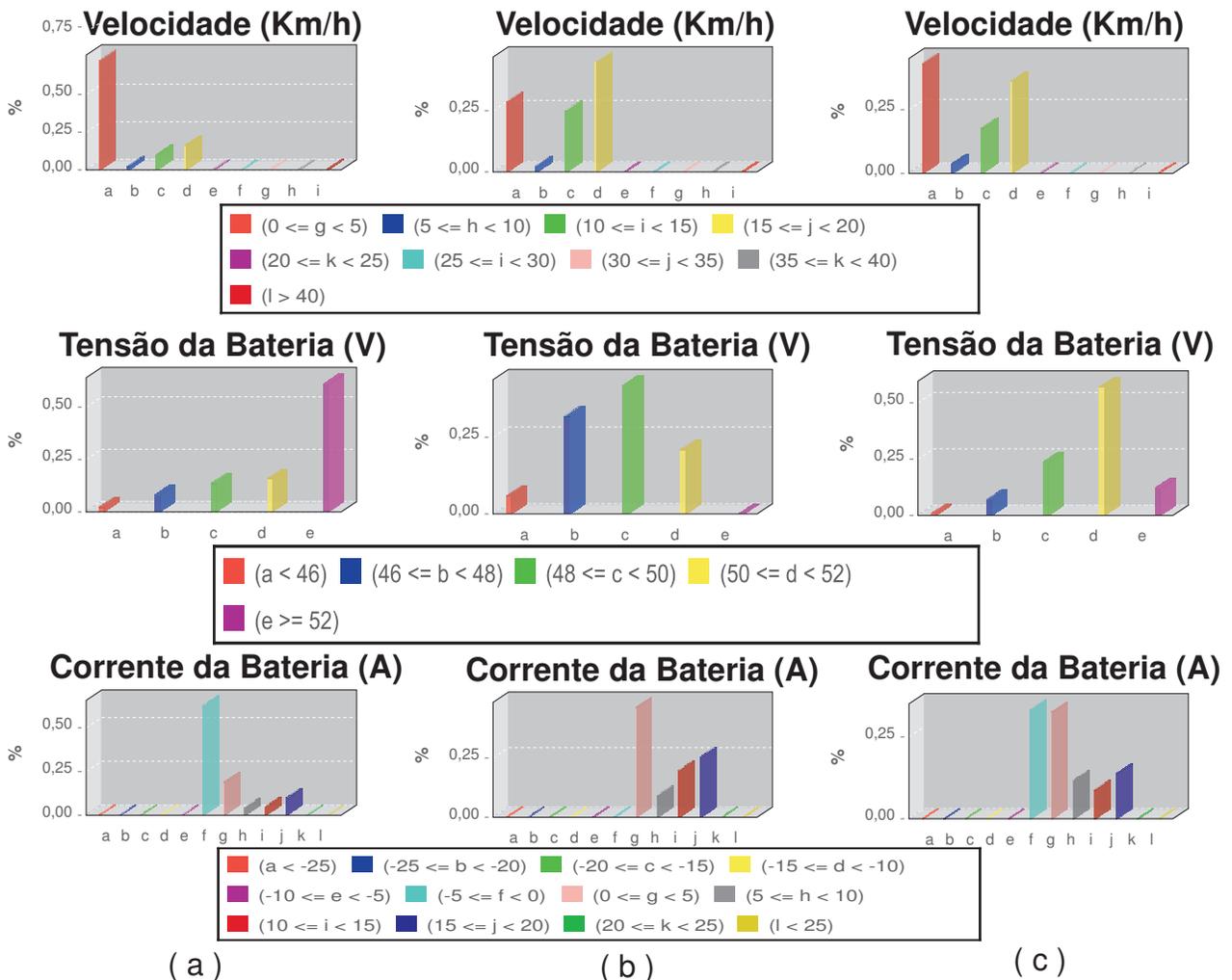


Fig. 4.17: Gráficos gerados automaticamente com os dados coletados da ME.

conectada automaticamente ao carregador até atingir a carga máxima, que durava inicialmente em torno de 6 horas e depois este tempo foi aumentando, conforme o teste evolui no passar dos dias. Notou-se que a bateria inicialmente apresentou um bom desempenho não atingindo descarga profunda durante os ciclos.

A fig.(4.18) mostra os primeiros ciclos registrados no início do teste com a bateria nova. Pode-se notar que foi atingido a quantidade de três ciclos inteiros durante 24 horas, 1440 minutos, e observa-se que a bateria atingiu o valor mínimo de tensão na descarga de aproximadamente 48V. Na fig.(4.19), pode-se verificar detalhes de 1 ciclo na fase inicial do teste com a bateria nova.

A fig.(4.20) mostra o último ciclo registrado no final do teste com a bateria. Pode-se notar que o tempo de carga da bateria durou aproximadamente 8h40min. Na fig.(4.21), pode-se verificar detalhes do último ciclo de descarga da bateria e verificar que a bateria chegou na tensão mínima de 45,2V.

Na fig.(4.22) pode-se verificar a diferença entre o tempo de carga da bateria no início e no final do teste e também os valores mínimos em que a tensão na bateria atingiu após a descarga, antes de iniciar a carga.

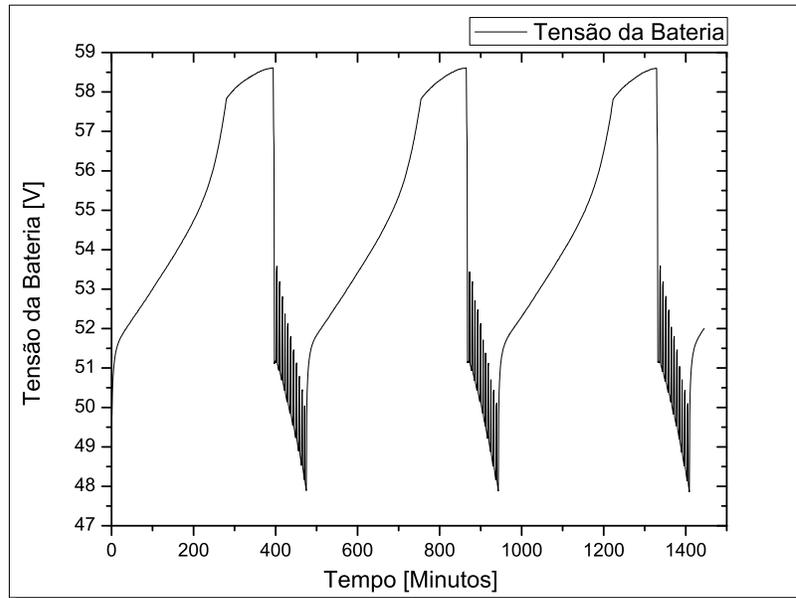


Fig. 4.18: Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante os primeiros ciclos do teste realizado com a bateria nova.

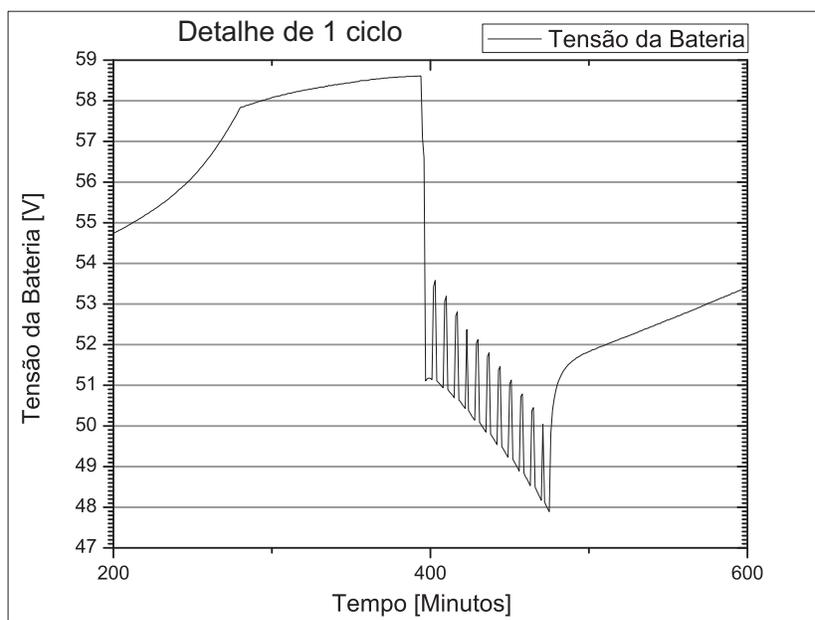


Fig. 4.19: Gráfico mostrando detalhe da variação da tensão na bateria durante um dos primeiros ciclos do teste realizado com a bateria nova.

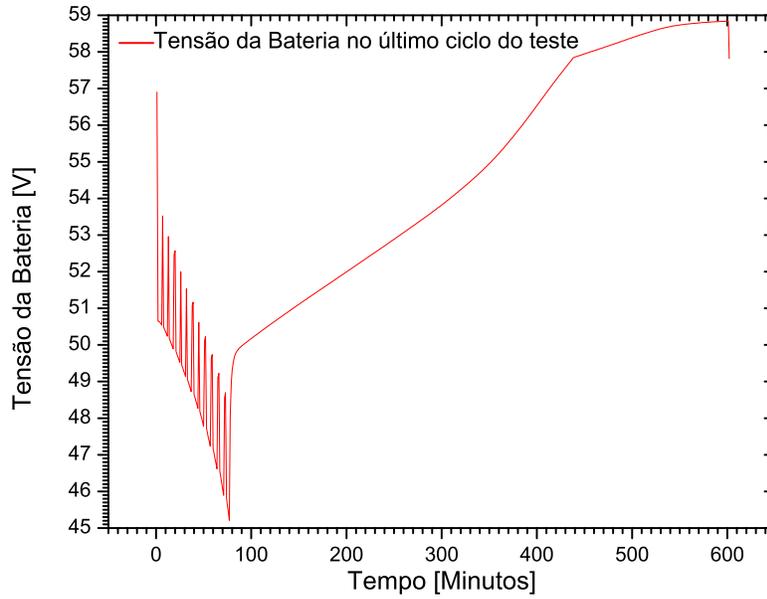


Fig. 4.20: Gráfico mostrando a variação da tensão na bateria durante o último ciclo do teste realizado com a bateria nova.

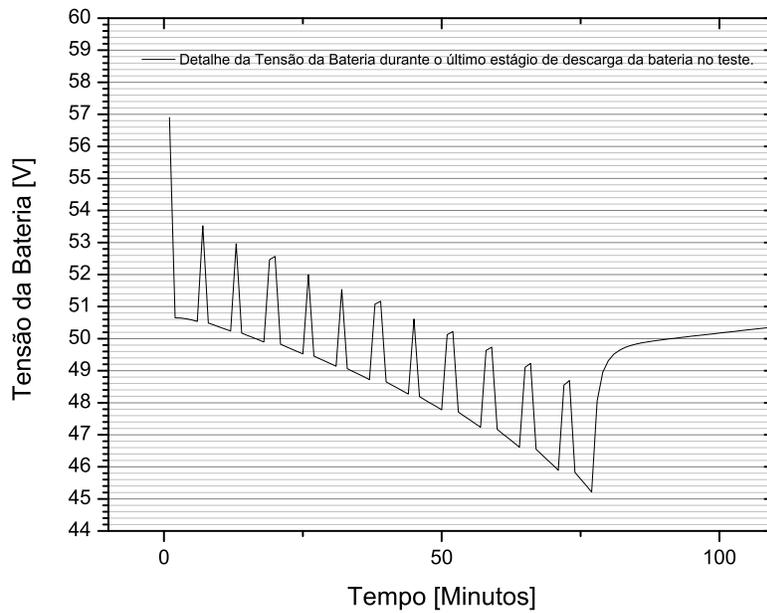


Fig. 4.21: Gráfico mostrando detalhe da variação da tensão na bateria descarregando durante o último ciclo do teste realizado com a bateria.

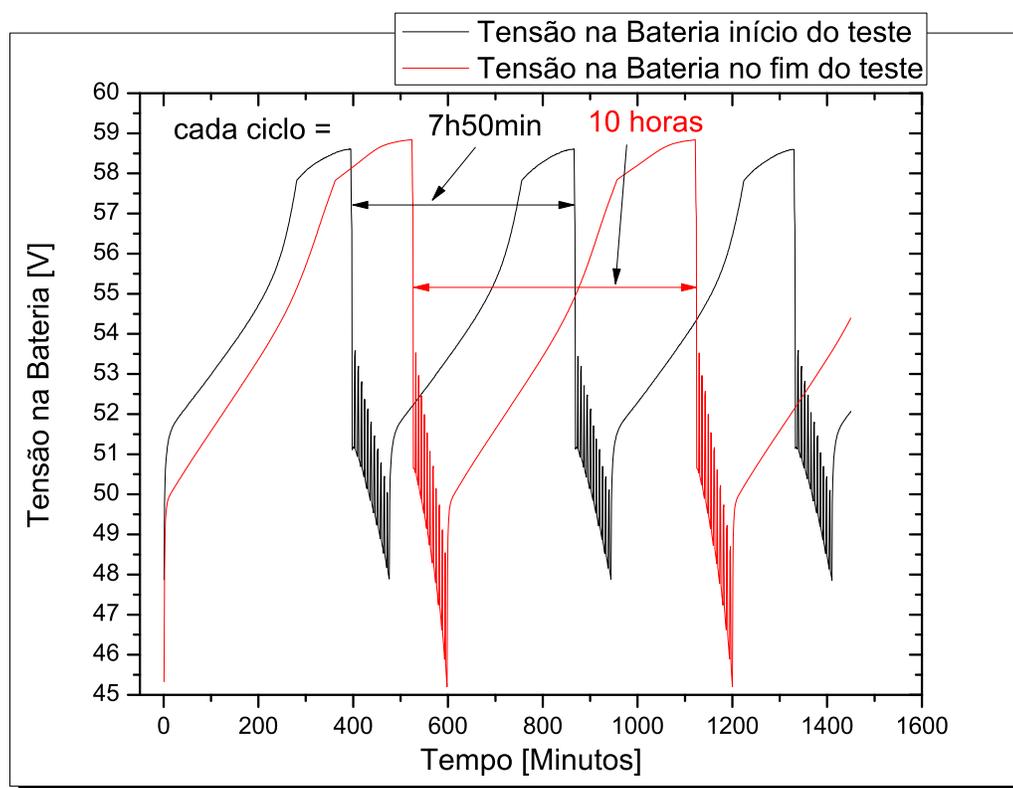


Fig. 4.22: Gráfico mostrando tensão da bateria no início e final do teste da bateria.

Capítulo 5

Conclusão

O projeto foi desenvolvido por quase dois anos e os objetivos foram cumpridos. O projeto atendeu os objetivos desejados e proporcionou uma experiência relevante em projetos de circuitos eletrônicos de aquisição de dados e condicionamento de sinais, e também adquirir experiência em relação a veículos elétricos, mais especificamente motos elétricas. Foi possível desenvolver estudos de grande importância acadêmica e que serão úteis para utilizar de base para usuários e fabricantes de MEs.

Os bons resultados experimentais permitiram validar o Sistema Georeferenciado de Aquisição de Dados para caracterização de motos elétricas proposto neste trabalho. Para a utilização durante 12 meses em 10 MEs, o sistema manteve-se estável, isto é, foi possível assegurar a qualidade dos dados coletados.

O sensor de corrente utilizado nas MEs forneceram leituras estáveis do início ao fim dos testes. Nenhum sensor instalado nas MEs queimou.

As PAD/CSA instaladas nas MEs estudadas, permaneceram durante todo o período de estudo sem apresentarem defeito e coletaram os dados durante os testes com as MEs sem falhas.

Os circuitos eletrônicos da PAD/CSA mostraram-se estáveis no decorrer do tempo de utilização nas MEs. O sensor e o circuito eletrônico de medição de rpm e velocidade da ME mostrou-se eficiente e preciso durante os testes executados.

Foram constatadas diversas vantagens em se utilizar um sistema que guardava os dados em memória flash USB drive *pendrive*, pois além de robusto ele consegue armazenar os dados das MEs por muito tempo, não necessitando de remoção e leitura constante. Os *pendrive* armazenavam dados durante um mês em SP e depois eram enviados a Unicamp para serem analisados, mas eles tinham capacidade para armazenar dados por mais de 2 anos, caso precisasse.

Foi considerado de grande importância que os dados coletados das MEs são georeferenciados pelo sistema de GPS, pois ajudou na análise dos dados e avaliação das MEs.

O sistema de medidas com Labview e placa microcontrolada desenvolvido foi de grande importância para o estudo das MEs devido apresentar instantaneamente em Laboratório os dados das MEs, podendo assim serem analisadas durante o seu funcionamento.

Foi desenvolvido um circuito que permite emular em laboratório carga e descarga de uma bateria de ME operando na rua, que permitiu realizar medições e análises de vários parâmetros durante o seu funcionamento em regime de carga e descarga durante quase dois meses. Este sistema de teste de baterias pode ser utilizado para testar várias baterias ao mesmo tempo, assim sendo possível fazer análises comparando-as umas com as outras.

Os dados que foram coletados durante a pesquisa nas motos foram analisados e considerados importantes para monitoramento das MEs. Foram feitas análises das correntes elétricas consumidas nas MEs com um ou dois motores em funcionamento juntos na MEs e foi constatado que apesar de aumentar um pouco a potência, não resultava em ganhos substanciais em velocidade, e por outro lado o consumo de energia da bateria aumentava consideravelmente seu valor descarregando mais rapidamente a bateria.

Referências Bibliográficas

- [1] Veículos Elétricos. Página na internet, Associação Brasileira do Veículo Elétrico, Acesso em: dezembro 2008. "<http://www.abve.org.br/>".
- [2] G. Barreto. Veículo Elétrico a Bateria: Contribuições à Análise de seu Desempenho e seu Projeto. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 1986.
- [3] The History of Electric Vehicles. Página na internet, The New York Times Company, Acesso em: dezembro 2008. "<http://inventors.about.com/library/weekly/aacarselectrica.htm>".
- [4] George Christodoulou. Antique Ohio Electric Car. Página na internet, Ezine Articles, Acesso em: fevereiro 2009. "<http://ezinearticles.com/?Antique-Ohio-Electric-Car&id=527431>".
- [5] Clovis Goldemberg, Luiz Lebensztajn, Eduardo L. Pellini. *A Evolução do Carro Elétrico*. PEA/EPUSP, Agosto 2005. "<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/CarroEletrico2005>".
- [6] L. C. Bueno de Moraes. Tração elétrica como alternativa energética: uma proposta para a conversão de veículos automotivos de uso urbano. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- [7] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN: 0-8493-3154-4, Dec 2004.
- [8] J. A. Siqueira Dias. Do foguete ao carro elétrico. ed. 403, p.6-7, JORNAL DA UNICAMP, Agosto 2008. "http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju403Pag0607Monobloco.pdf".
- [9] Paulo Soares. Projeto e desenvolvimento de um computador de bordo para monitoração de veículos de transporte. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- [10] Descrição S1000. Página na internet, MOTOR Z, Acesso em: dezembro 2008. "http://www.motorz.com.br/produto_s1000.asp".

-
- [11] *Datasheet 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash* . Atmel Corporation, 2006. "<http://www.atmel.com/>".
- [12] ACS750 Current Sensors. Página na internet, Allegro MicroSystems, Inc., Acesso em: janeiro 2008. "http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/0750/".
- [13] Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith. *Microelectronic Circuits* . Oxford University Press, 2003. "<http://www.oup.com/us/companion.websites/0195142519/>".