



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

André Rodrigues Krempser

**Metodologia de Aquisição de Dados de Baterias para Tração de
Veículos Elétricos e Sua Integração com as
Redes de Energia**

Rio de Janeiro

2013

André Rodrigues Krempser

**Metodologia de Aquisição de Dados de Baterias para Tração de Veículos
Elétricos e Sua Integração com as Redes de Energia**



Projeto de graduação apresentado, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista à Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ARTUR PECORELLI PERES

Rio de Janeiro
2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

K92 Krempser, André Rodrigues.
Metodologia de aquisição de dados de baterias para tração de veículos elétricos e sua integração com as redes de energia/ André Rodrigues Krempser. – 2013.
86f.

Orientador: Luiz Artur Pecorelli Peres.
Projeto Final (Graduação) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
Bibliografia p.65-68.

1. Engenharia elétrica. 2. Veículos elétricos. 3. Aquisição de dados. I. Peres, Luiz Artur Pecorelli. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 621.3

André Rodrigues Krempser

**Metodologia de Aquisição de Dados de Baterias para Tração de Veículos
Elétricos e Sua Integração com as Redes de Energia**

Projeto de graduação apresentado,
como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista à Faculdade de
Engenharia da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em 16 de Setembro de 2013

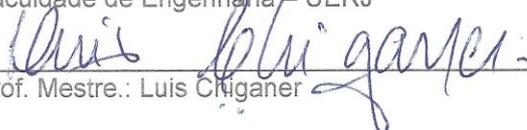
Banca examinadora:


Prof.Doutor (Orientador): Luiz Artur Pecorelli Peres

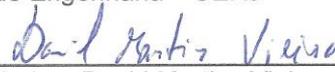
Faculdade de Engenharia – UERJ


Prof.Doutor: Luís Fernando Corrêa Monteiro

Faculdade de Engenharia – UERJ


Prof. Mestre.: Luis Ciganer

Faculdade de Engenharia – UERJ


Prof. Engenheiro.: David Martins Vieira

Faculdade de Engenharia – UERJ


Prof. Engenheiro.: Luiz Sebastião Costa

Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2013

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, irmãos e amigos, particularmente ao meu grande amigo José, que me ajudou com seus conselhos e apoio para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Professor Luiz Artur Pecorelli Peres, que através da sua sabedoria e dedicação me ajudou a trilhar os caminhos até a realização deste trabalho.

Ao Professor Washington da Costa, do CEFET-RJ, pelos auxílios prestados durante os testes realizados neste trabalho.

Ao engenheiro e pesquisador Marcus Lellis Pacífico Peçanha, que através da sua sabedoria e experiência, me ajudou na realização deste trabalho.

Ao engenheiro Jorge da Silva Martins, da UERJ, pela confecção de estruturas fundamentais para os testes realizados neste trabalho.

Ao engenheiro e professor do Departamento de Eletrônica da UERJ Cleiton Magalhães Freitas, pelos auxílios prestados nos testes realizados neste trabalho.

Ao estagiário Ranther Ferreira de Melo, do Grupo de Estudo de Veículos Elétricos da UERJ, pelo apoio prestado durante os testes descritos neste trabalho.

À Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE, pelas valiosas contribuições que tem prestado à disseminação da tecnologia veicular elétrica no Brasil.

À empresa Ampla Energia e Serviços S.A, por seus subsídios indispensáveis à realização deste trabalho.

À empresa Powersave, por conceder equipamento indispensável à realização de testes descritos neste trabalho.

RESUMO

KREMPSER, André Rodrigues. Metodologia de Aquisição de Dados de Baterias para Tração de Veículos Elétricos e Sua Integração com as Redes de Energia. 86f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Poluição ambiental, questões climáticas e atmosféricas têm tornado o uso final da energia assunto de interesse mundial. Sistemas com tração elétrica oferecem a oportunidade de maior eficiência energética e, conseqüente, redução de emissões. O mix de energia caracterizado pela matriz energética brasileira viabiliza o desenvolvimento desta tecnologia. Este trabalho apresenta uma metodologia de medição e aquisição de dados, bem como análise matemática do desempenho de veículos elétricos rodoviários à bateria, através de testes realizados com uma Kombi, ano modelo 1982, convertida para tração elétrica, através de uma parceria entre a UERJ e o CEFET - RJ. O trabalho discute, também, a integração dos veículos elétricos no contexto das redes inteligentes de energia, no qual foram utilizados uma scooter elétrica e um protótipo de medidor inteligente de energia, para testes de recarga com a mesma. Equipamentos de medição e aquisição de dados, ferramentas matemáticas e a prática corrente de experiências fornecem a base para a elaboração deste texto, buscando assim promover os benefícios da tecnologia veicular elétrica. Para viabilização de experimentos mais completos, o trabalho conclui que é necessário ampliar os recursos para o desenvolvimento tecnológico da tração elétrica. Além disto, há necessidade de políticas públicas para o incentivo desta tecnologia no Brasil. Este trabalho, por fim, apresenta uma contribuição para análise do desempenho de VEs, visto que é possível realizá-la utilizando equipamentos e componentes encontrados no mercado nacional.

Palavras-chave: Veículos elétricos, aquisição de dados, V2G, redes inteligentes de energia.

ABSTRACT

KREMPSER, André Rodrigues. Methodology Data Acquisition of Traction Batteries for Electric Vehicles and Their Integration with Power Networks. 86f. Final Project (Graduate in Electrical Engineering) - College of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Environmental pollution, atmospheric and climate issues have made the final use of the energy issue of global concern. Electric drive systems offer the opportunity for greater energy efficiency and, consequently, reducing emissions. The energy mix characterized by the Brazilian energy matrix enables the development of this technology. This paper presents a methodology for measuring and data acquisition, as well as mathematical analysis of the performance of the battery electric vehicle road through tests with a van, year 1982 model, converted to electric traction through a partnership between UERJ and CEFET - RJ. The paper also discusses the integration of electric vehicles in the context of smart grids, which were used in an electric scooter and a prototype smart meter energy to recharge tests with the same. Measuring equipment and data acquisition, mathematical tools and practice experiences provide the basis for the preparation of this text, thus seeking to promote the benefits of electric vehicle technology. For more complete feasibility experiments, the paper concludes that it is necessary to expand the resources for technological development of electric traction. Furthermore, there is need for public policies to encourage this technology in Brazil. This work ultimately presents a contribution to the performance analysis of EVs, since it is possible to do it using equipment and components found in the domestic market.

Keywords: Electric Vehicles, data acquisition, V2G, smart grids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Kombi, ano modelo 1982, disponível para o projeto.....	22
Figura 1.2 - Kombi, ano modelo 1982, convertida para tração elétrica.....	23
Figura 1.3 - Vista lateral do compartimento de cargas, contendo o banco de baterias e demais componentes.....	23
Figura 1.4 - Esquema ilustrativo das ligações das linhas de potência e de comando, entre os veículos e o operador da rede elétrica.....	25
Figura 2.1 - Diagrama esquemático da inter-relação dos componentes de um veículo elétrico.....	27
Figura 2.2 - Perda da capacidade de uma bateria chumbo-ácido.....	32
Figura 2.3 - Interferência da temperatura ambiente no tempo máximo de armazenamento de uma bateria chumbo-ácido regulada a válvula bateria.....	32
Figura 2.4 - Capacidade da bateria chumbo-ácido durante o período de inatividade.....	33
Figura 2.5 - Capacidade de uma bateria de hidreto de níquel metálico em função da temperatura.....	33
Figura 2.6 - Energia específica em Wh/kg em função da temperatura.....	34
Figura 2.7 - Curvas de Raggone por tipo de bateria	35
Figura 2.8. Modelo esquemático da bateria chumbo-ácido.....	38
Figura 2.9 - Autonomia de veículos elétricos por tipo de bateria.....	39
Figura 2.10 - Exemplo de comparação de inversores utilizados na indústria e nos veículos elétricos.....	41
Figura 2.11 - Sistema de transmissão do movimento de veículos à combustão interna.....	41
Figura 3.1 - Vista frontal da estrutura de suporte de aquisição de dados.....	44
Figura 3.2 - Vista lateral da estrutura de suporte de aquisição de dados.....	44
Figura 3.3 - Esquema da Kombi com a localização da estrutura de suporte para instrumentos de aquisição de dados.....	45
Figura 3.4 - Painel de recarga, com conexões disponíveis para equipamentos de medição e aquisição de dados, conectado a rede elétrica.....	47
Figura 3.5 - Esquema de ligação do DAS em veículos elétricos.....	49

Figura 3.6 - Diagrama de ligação do DAS no banco de baterias de 240 V da Kombi, ressaltando a entrada para carregador de baterias.....	49
Figura 3.7 - Gráfico com registro de tensão e corrente de fonte eletroquímica chumbo ácida, tensão nominal de 24 V, variando-se a velocidade do motor de corrente contínua em vazio. Controle de velocidade com MOSFET.....	50
Figura 3.8 - ScopeMeter.....	51
Figura 3.9 - Diagrama de ligação do ScopeMeter no banco de baterias de 240 V da Kombi, no modo de tração, ressaltando a entrada para carregador de bateria.....	51
Figura 3.10 - ScopeMeter instalado no interior da Kombi durante teste de tração.	52
Figura 3.11 - Teste realizado no LSPV com duas lâmpadas incandescente em série, controladas por dimmer para medição de tensão, corrente, potência e harmônicos na rede elétrica.....	52
Figura 3.12 - Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do ScopeMeter na rede de alimentação durante o teste de recarga.....	53
Figuras 3.13 - Vistas superior e frontal do MARH 21 sendo utilizado em teste de análise de recarga monofásica no LSPV.....	54
Figura 3.14 - Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do MARH 21 na rede de alimentação durante o teste de recarga.	54
Figura 3.15 - Scooter posicionada antes do procedimento de descarga da bateria por um dos estagiários do GRUVE.....	55
Figura 3.16 - Figura 3.16. Scooter sendo utilizada durante o procedimento de descarga da bateria. Ao fundo um aluno da pós-graduação de mecânica da UERJ, Idris Jide, ao lado do Prof. Pecorelli.....	56
Figura 3.17 - Tomada inteligente Powersave.....	56
Figura 3.18 - Diagrama esquemático de ligação da scooter à rede elétrica, durante o teste de recarga.....	57
Figura 3.19 – Bancada de testes do LSPV com scooter sendo submetida à recarga da bateria.....	57
Figura 4.1 - Gráfico da tensão gerado pelo ScopeMeter durante o teste de tração em vazio da Kombi.....	58

Figura 4.2 - Gráfico de tensão gerado pelo ScopeMeter durante o teste de tração da Kombi.....	59
Figura 4.3 - Gráficos de tensão, corrente e potência gerados pelo ScopeMeter durante o teste de recarga do banco de baterias da Kombi.....	60
Figura 4.4 - Gráficos de frequência, k-factor e distorção harmônica total da corrente – THDi gerados pelo ScopeMeter.....	61
Figura 4.5 - Amostra dos gráficos de frequência, tensão, corrente e potência gerados pelo software do ScopeMeter nos primeiros cinquenta minutos do teste de recarga da scooter.....	62
Figura 4.6 - Amostra dos gráficos de frequência, tensão, corrente e potência gerados pelo software do ScopeMeter nos últimos cinquenta minutos do teste de recarga da scooter.....	63
Figura 4.7 - Gráfico dos valores instantâneos fornecidos pela tomada Powersave, da energia de reposição da bateria em função do tempo nos primeiros cinquenta minutos de recarga.....	64
Figura 4.8 - Gráfico dos valores instantâneos fornecidos pela tomada Powersave, da energia de reposição da bateria em função do tempo nos últimos cinquenta minutos de recarga.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela de capacidade de descarga das baterias chumbo ácido utilizadas no projeto.....	36
Tabela 2.2 - Características dos motores usados em veículos elétricos.....	39
Tabela 4.1. Cálculo do valor médio do F.P a cada intervalo de tempo, durante o teste de recarga da scooter.....	65
Tabela 4.2. Comparação dos resultados a partir do valor médio do F.P calculado, com o valor médio do F.P medido pala tomada Powersave.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico.
Ah	Ampère hora.
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.
CEPER	Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis.
CCT	Centro de Ciência e Tecnologia da Faculdade de Engenharia.
DoD	“Depth of Discharge”.
e^-	Elétron.
GESAR	Grupo de Ensaios e Simulações Ambientais para Reservatórios.
GRUVE	Grupo de Estudos de Veículos Elétricos da UERJ.
H^+	Íon de Hidrogênio.
Li-ion	Lítio-íon.
LiM- Polímero	Lítio-íon Polímero.
LSPV	Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas.
SoC	“State of Charge”.
THDi	“Current Total Harmonic Distortion”.
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
USP	Universidade de São Paulo.
VCI	Veículo à Combustão Interna.
VE	Veículo Elétrico.
V2G	Dispositivo opcional de intercâmbio de energia com a rede por um VE.

LISTA DE SÍMBOLOS

$a(t)$	Aceleração do veículo.
A_F	Área frontal do veículo.
C_D	Coefficiente de resistência aerodinâmica.
d	Distância percorrida durante o modo de tração ou descarga.
E	Energia consumida no percurso.
E_d	Energia gasta no modo de tração ou descarga.
E_R	Energia de reposição do banco de baterias.
ef_{bat}	Eficiência do banco de baterias do VE em descarga.
ef	Eficiência do veículo elétrico.
g	Aceleração da gravidade.
$i_d(t)$	Corrente de tração, medida, do banco de baterias.
$i_R(t)$	Corrente de reposição de carga, medida, do banco de baterias.
K	Coefficiente de resistência cinética do rolamento.
M_e	Massa equivalente do veículo, em kg, incluindo a inércia rotacional.
η	Rendimento do veículo elétrico no processo de recarga.
θ	Inclinação do percurso.
P_1	Potência para vencer a inércia.
P_{AD}	Potência para vencer a resistência aerodinâmica.
$p_d(t)$	Potência gasta no percurso.
P_D	Potência para vencer a resistência a inclinação do percurso.
$p_R(t)$	Potência de reposição de carga do banco de baterias.
P_{RR}	Potência para vencer a resistência dos enrolamentos.
P_T	Potência total desenvolvida pelo veículo.
t	Tempo.
\mathcal{U}	Densidade volumétrica do ar.

- $v(t)$ Velocidade do veículo.
- $v_d(t)$ Tensão do banco de baterias, medida no modo de tração.
- $v_R(t)$ Tensão de reposição de carga, medida, do banco de baterias.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	17
1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	22
1.1 Projeto de Conversão da Kombi	22
1.2 Veículos Elétricos e as Redes Inteligentes de Energia	24
2. SISTEMA DE PROPULSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS À BATERIA	27
2.1 Bateria	27
2.1.1 Funcionamento das Baterias	29
2.1.2 Parâmetros Importantes e Classificações das Baterias	30
2.1.3 Bateria Chumbo-Ácido	37
2.1.4 Desafios Tecnológicos em Busca de Maior Autonomia	39
2.2 Controlador e Motor Elétrico	39
2.3 Transmissão do Movimento	41
2.4 Potência de Tração Exercida nos Veículos	42
3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	44
3.1 Modo de Tração	44
3.2 Modo de Recarga	46
3.3 Cálculo da Eficiência do Veículo Elétrico e do Rendimento da Recarga	48
3.4 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Tração	48
3.4.1 Equipamentos Especiais	48
3.4.2 Equipamentos Convencionais	50
3.5 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Recarga	53
3.5.1 Osciloscópio Portátil	53
3.5.2 Analisador de Energia	53
3.5.3 Teste de Recarga Utilizando Scooter Elétrica	55
4. RESULTADOS E ANÁLISES	58
4.1 Modo de Tração	58
4.2 Modo de Recarga	60
4.3 Teste de Recarga com Scooter Elétrica	62
4.3.1 Aquisição de Dados com Tomada Inteligente Powersave	63

4.3.2	Discussão dos Valores das Medições entre ScopeMeter e Powersave.....	65
5.	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXO A – Manual da Scooter Elétrica da BJ Motors, Modelo B.....	73
	ANEXO B – Valores da Tensão do teste em vazio.....	74
	ANEXO C – Valores da tensão do teste de tração.....	75
	ANEXO D – Valores da tensão, corrente e potência do teste de Recarga.....	79
	ANEXO E – Valores de frequência, K-Factor e distorção harmônica total da corrente.....	82
	ANEXO F – Tabela de valores, gerados pelo software do ScopeMeter no teste de recarga da bateria nos primeiros cinquenta minutos, com intervalos de 5 minutos.....	83
	ANEXO G – Tabela de valores, gerados pelo software do ScopeMeter no teste de recarga da bateria nos últimos cinquenta minutos, com intervalos de 5 minutos.....	84
	ANEXO H – Amostra da tabela de valores, gerados pelo software do Powersave, no teste de recarga da bateria nos primeiros cinquenta minutos, com intervalos de 5 minutos.....	85
	ANEXO I – Amostra da tabela de valores, gerados pelo software do Powersave, no teste de recarga da bateria nos últimos cinquenta minutos, com intervalos de 5 minutos.....	86

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Os veículos à combustão interna constituem a maior parcela dos meios pelos quais as pessoas se deslocam nos centros urbanos. Esses veículos, sendo eles carros, caminhões, ônibus ou motos, são movidos à queima de combustíveis fósseis como a gasolina, etanol e o óleo diesel. Tais veículos emitem material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono e diversos outros gases e impurezas indesejáveis à preservação do meio ambiente. Estas substâncias influem na qualidade de vida das pessoas que transitam pelas metrópoles contribuindo para problemas como doenças respiratórias e cardíacas, custando pelo menos R\$ 2,3 bilhões por ano à sociedade brasileira em decorrência de mortes, tratamento de enfermidades, ausências ao trabalho, entre outros. Pelo menos 80% destas emissões se devem aos veículos à combustão interna (ROCHA, Leonardo, KREMPSER, André, 2011). Contudo, com a globalização do mercado, a interdependência de consumidores e as políticas relativas às questões ambientais fazem parte de diversos protocolos de intenção entre nações, como base para futuros acordos de cooperação e tratados comerciais. Existe atualmente uma preocupação mundial no que se refere ao aumento das emissões de grandes quantidades dos chamados gases de efeito estufa na atmosfera, que interferem nas mudanças climáticas. O debate, nas últimas décadas, em torno do registro da elevação na temperatura média do planeta dirigiu o meio científico ao estabelecimento de uma teoria na qual se afirma existirem relações entre a produção e o uso da energia, onde a origem de maior peso é aquela advinda de fontes fósseis, em particular os derivados de gases expelidos por veículos a combustão interna. A maioria dos países utiliza combustíveis derivados de petróleo para o transporte terrestre, que fica subordinado às oscilações deste mercado mundial. No Brasil, mais da metade do petróleo consumido pelo setor de transporte é utilizado para veículos rodoviários.

Conforme mencionado, a poluição atmosférica advinda destes veículos nos centros urbanos é responsável por mais de 80% do total das emissões de gases e partículas sólidas. Estas se intensificam à medida que a indústria automobilística mundial acelera o processo de produção e venda de veículos, cuja principal demanda acontece nos grandes centros urbanos, diminuindo a já debilitada qualidade de vida.

Várias medidas já foram apresentadas e muitas adotadas: rodízios de veículos e pedágio eletrônico em determinadas cidades; controle de emissão de gases dos motores; imposto adicional, proporcional ao nível de emissão do veículo, etc. A indústria automotiva, motivada por questões ambientais e econômicas, vem desenvolvendo dispositivos de alto rendimento, como motores, sistemas de injeção eletrônica e catalisadores, que possibilitam economia de combustível e reduções nas taxas de emissões de poluentes. Estas inovações fizeram com que os veículos diminuíssem a emissão dos gases nocivos à saúde humana. Por outro lado, à medida que os motores de combustão interna reduzem os índices de monóxido de carbono (CO), hidrocarboneto não queimado (HC) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), obtendo queima da mistura ar e combustível próxima do ideal, ocorre o aumento da emissão de dióxido de carbono (CO₂), que, apesar de não ser poluente, constitui um dos gases de efeito estufa que ampliam os efeitos das mudanças climáticas.

Apesar destas medidas mencionadas, para a efetiva redução de poluentes exigem-se mudanças radicais na concepção da motorização e suprimento de energia. A substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis, como o álcool combustível e o biodiesel, traz benefícios consideráveis para as mudanças climáticas, sem, no entanto, eliminar os poluentes como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC) e os óxidos de nitrogênio (NO_x).

Atualmente, o veículo elétrico se mostra propício às questões ambientais, visto que as emissões são sensivelmente reduzidas. Entretanto, ao se conectar à rede elétrica para recarga, este processo dependerá do mix de geração de energia de cada país. O Brasil, tendo em vista a produção de energia elétrica ser predominantemente hidroelétrica, apresenta vantagens significativas (PECORELLI PERES, 2000).

Muitas iniciativas importantes buscam reduções nas taxas de emissões e menor ou nenhuma dependência do petróleo como combustível, através do uso de sistemas com tração elétrica, como é o caso dos veículos elétricos, dos elétricos híbridos e dos veículos a célula de combustível. Empresas, universidades e órgãos governamentais vêm estabelecendo acordos de cooperação com o objetivo de acelerar os processos de desenvolvimento da tecnologia veicular elétrica. Com a evolução dessa tecnologia, muitos países começam a definir legislação específica para este fim.

No Brasil e em diversos países, estão sendo criadas legislações que estabelecem programas e normas para uma redução progressiva nas emissões de gases na atmosfera, devido ao crescimento de suas regiões metropolitanas. De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, a frota de veículos terrestres no Brasil já ultrapassa 44 milhões, incluindo veículos leves e pesados e motos. O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, criado em Maio 1986, completou, este ano, 27 anos de implantação no Brasil. O programa, que impõe limites máximos para as emissões de poluentes veiculares, vem estabelecendo metas rigorosas, e, como consequência, apresenta ganhos significativos na redução de emissão de gases poluentes. Este programa estabeleceu normas no que diz respeito à fabricação e ao estado de conservação dos veículos, porém, ainda não está completamente implantado, principalmente a fiscalização dos veículos nas vistorias obrigatórias. A grande maioria das cidades brasileiras não realiza a Inspeção Técnica Veicular (COSTA PINTO, Paulo Mozart, 2005).

No Brasil não existe legislação específica relacionada aos VEs. A produção e a comercialização destes veículos estão sujeitas a uma elevada carga tributária que traz enormes obstáculos ao desenvolvimento desta tecnologia, visto que a legislação automotiva existente está desatualizada. Todavia, no caso de fabricação artesanal ou de conversão, é possível utilizar algumas regulamentações, conforme citado abaixo, que permitem a obtenção de um carro elétrico a um custo mais acessível:

- RTQ 24 e Portaria nº 30 do INMETRO, que estabelecem os requisitos pertinentes à inspeção de segurança veicular, em veículos que tiveram modificações nas suas características originais, bem como veículos de fabricação própria;
- Resolução 41 do CONTRAN, que estabelece os procedimentos para o cadastramento de veículos no RENAVAM e emissão do Certificado de Segurança Veicular.

De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE, em sete estados brasileiros os proprietários de veículos movidos a motor elétrico (ou de força motriz elétrica) são isentos do IPVA e em três estados têm alíquota do IPVA diferenciada.

Apesar de algumas iniciativas já terem sido tomadas em alguns estados e municípios para incentivar e promover a utilização dos VEs, não existe um programa nacional e políticas públicas para o desenvolvimento e promoção desta tecnologia.

Tendo em vista o panorama apresentado, o Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, destina-se a atuar em tarefas voltadas à disseminação do conhecimento em relação à tecnologia veicular elétrica, conforme exposto em (DA SILVA, Erick; et al, 2011). Essas e outras atividades permitiram uma parceria entre o GRUVE e o CEFET/ RJ, da unidade de Maria da Graça, para conversão de uma Kombi à combustão interna para tração elétrica. Este projeto foi desenvolvido em caráter educativo e de promoção dos conhecimentos da tecnologia veicular elétrica no Brasil. Além disso, esta Kombi é utilizada como plataforma de estudos e pesquisas, envolvendo testes de medição e aquisição de dados de desempenho de VEs, na qual a maior parte dos testes deste trabalho foram realizados.

- **Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia de medição e aquisição de dados, bem como a análise matemática do desempenho de veículos elétricos rodoviários à bateria, através de testes realizados com a Kombi, e sua integração nas redes de energia, na qual foram utilizados uma scooter elétrica e um protótipo de medidor inteligente de energia, para testes de recarga com a mesma. Através da análise de desempenho em recarga dos VEs se obtém dados para a obtenção da influência deste processo nas curvas de carga das concessionárias de energia. É importante salientar que tal projeto contribui para o estudo da tecnologia veicular elétrica no Brasil, que ainda está em nível muito aquém do desejado, devido à falta de apoio governamental, pois, sobre os automóveis convencionais, 1.0, incide 7% de IPI enquanto para os carros elétricos o percentual é de 25% (ROCHA, Leonardo, KREMPSER, André, 2011). De acordo com o Professor Paulo Roberto Feldmann, presidente do Conselho da Pequena Empresa da Fecomercio/SP, em entrevista (FIELDMANN, Paulo R, 2013) concedida à Revista CESVI e publicada pela Associação Brasileira do Veículo elétrico – ABVE a frota de veículos elétricos na Europa será maior do que a de carros à combustível nas próximas décadas e o Brasil estará na contramão dessa evolução, se

continuarmos sem apoio governamental. Este trabalho tem ainda como objetivo adicional prover subsídios e treinamento aos integrantes do projeto de P&D/ANEEL, intitulado “*Desenvolvimento de Rede de Abastecimento de Veículos Elétricos para a Smart City Búzios*”, tendo em vista que testes dessa natureza estão previstos para serem realizados no âmbito da rede de postos de recarga da cidade inteligente Búzios.

- **Organização do Trabalho**

O primeiro capítulo apresenta as considerações gerais que descrevem a Kombi convertida para tração elétrica pela UERJ e CEFET - RJ, bem como a inserção dos VEs no contexto das redes inteligentes de energia.

O segundo capítulo apresenta uma análise dos cinco componentes principais que constituem um veículo elétrico à bateria;

O terceiro capítulo apresenta uma metodologia de ensaios dos modos de tração e recarga da Kombi e da scooter, bem como de avaliação da eficiência de veículos elétricos;

O quarto capítulo apresenta os gráficos e análise dos resultados dos ensaios nos modos de tração e recarga, realizados com a Kombi e recarga da scooter elétrica;

As conclusões são apresentadas no quinto capítulo, juntamente com recomendações para trabalhos futuros.

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo são apresentadas algumas considerações descritivas relativas à Kombi convertida para tração elétrica que serviu como laboratório deste projeto, bem como a inserção dos VEs nas redes de energia.

1.1 Projeto de Conversão da Kombi

No primeiro semestre de 2006, iniciou-se o Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica da UERJ, no qual frequentaram professores do CEFET/RJ, na disciplina de Sistemas de Propulsão Veicular, ministrada pelo coordenador do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos - GRUVE. Esta circunstância propiciou novas iniciativas, tendo em vista a disponibilidade de uma Kombi, ano modelo 1982, no Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do CEFET/ RJ, que estava desativada. Além disso, a implantação do Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV no Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis – CEPER da Faculdade de Engenharia da UERJ, no bairro de São Cristóvão, também no Rio de Janeiro, permitiu um ambiente de desenvolvimento desta tecnologia apropriado à realização pretendida no trabalho citado.

A conversão da Kombi para tração elétrica se deu em caráter educativo e de promoção dos benefícios da tecnologia veicular elétrica, sendo que a mesma funciona como laboratório de pesquisas e testes de equipamentos voltados a estes veículos.

As Figuras 1.1 e 1.2 apresentam, respectivamente, a foto da Kombi disponibilizada, no Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do CEFET/RJ antes e depois da conversão (DA COSTA, Washington, 2009).



Figura 1.1. Kombi, ano modelo 1982, disponível para o projeto.
Foto: Nelson F. Peres



Figura 1.2. Kombi, ano modelo 1982, convertida para tração elétrica.
Foto: Nelson F. Peres

A figura 1.3 mostra, em detalhes, a vista lateral do interior da Kombi convertida, e faz uma breve descrição dos componentes empregados.

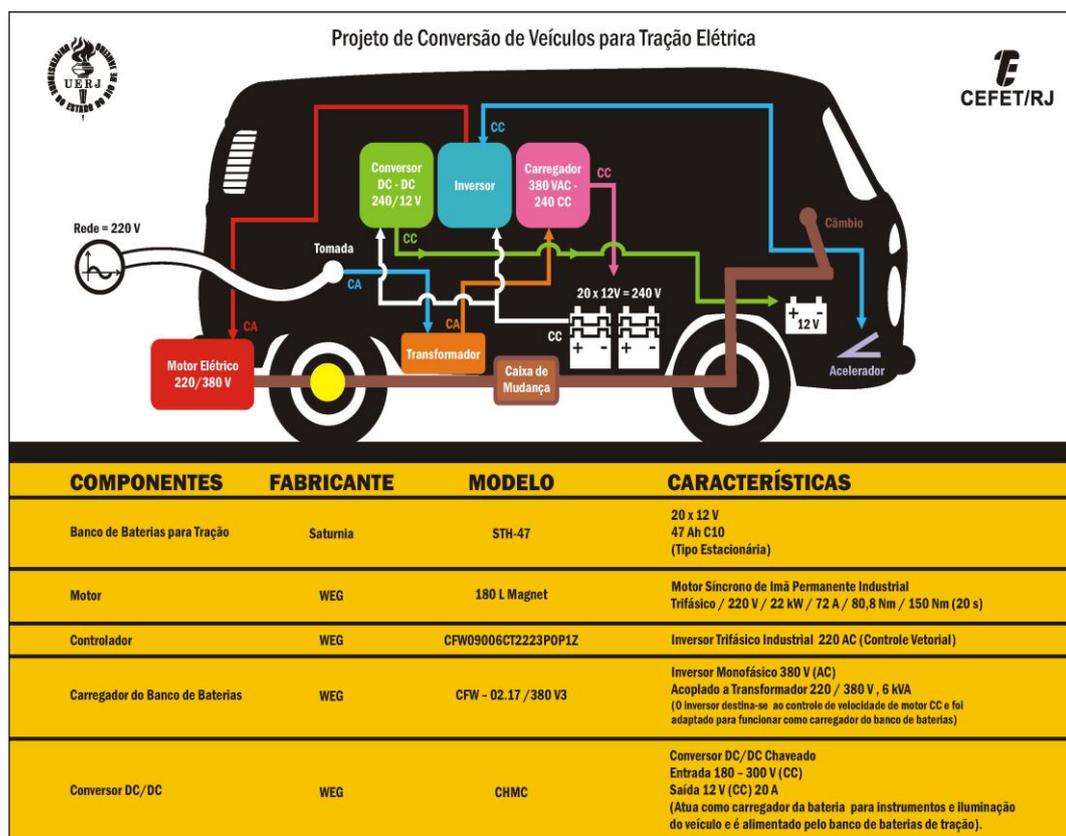


Figura 1.3. Vista lateral do compartimento de cargas, contendo o banco de baterias e demais componentes.
Figura: Nelson F. Peres

Todos os componentes empregados na conversão da Kombi são industriais, portanto não são componentes usualmente utilizados em veículos elétricos, doados à UERJ pelas empresas Saturnia (banco de baterias) e WEG (motor síncrono de ímã

permanente com fluxo radial, formato cilíndrico convencional, controlador, carregador e conversor).

Cabe mencionar, que a Kombi elétrica participou de alguns eventos, dentre os quais, destacam-se: UERJ Sem Muros 2010 e do evento internacional Challenge Bibendum 2010, no qual recebeu um troféu.

1.2 Veículos Elétricos e as Redes Inteligentes de Energia

Além dos muitos benefícios ambientais mencionados, a aplicação dos veículos elétricos também se dá no contexto das redes inteligentes de energia ou “Smart Grids”, através da tecnologia “Vehicle to grid” ou V2G. Segundo (CABRAL, Nuno Ricardo; et al, 2009) a tecnologia V2G constitui uma interface bidirecional entre os veículos elétricos e a rede de distribuição. Este conceito permite utilizar os veículos elétricos de modo a ajudar o balanceamento de carga, podendo estes carregar nas horas de baixo consumo e descarregar nas horas de pico, funcionando como reserva de eletricidade durante as horas que este se encontra estacionado. Visto que a eletricidade é carregada quando o custo é menor – durante a noite – e vendida durante o dia quando o custo é superior, o veículo criará um rendimento econômico que contribui para amortizar o investimento da aquisição do veículo. Isoladamente cada veículo não contribui significativamente para o sistema elétrico, mas um grande número de veículos já o influenciará. O atual sistema elétrico está sobredimensionado permitindo assegurar a distribuição durante as horas de pico. Nas restantes horas esta capacidade instalada não se encontra utilizada. A tecnologia V2G poderá aproveitar ao máximo a capacidade de produção elétrica disponível estabilizando, por exemplo, o caráter irregular da produção baseada em energias renováveis.

Os VEs, quando possuidores de baterias, células de combustível ou híbrido com motor de combustão interna possuem com eles uma fonte de energia, que através da eletrônica de potência já instalada é capaz de produzir corrente alternada, capaz de alimentar a rede quando essa potência for solicitada. Quando se encontra estacionado, representa um recurso energético parado, com possibilidade de armazenar ou fornecer energia. O V2G propõe a instalação de meios para explorar essa energia, absorvendo-a em períodos de baixa procura e fornecendo-a nos momentos em que a rede dela necessitar.

Como se observa na figura 1.4, que representa esquematicamente a ligação entre a rede e os VEs, do lado esquerdo encontram-se as centrais produtoras de energia elétrica, tendo como fontes de energia primárias o carvão, o gás natural, derivados de petróleo, centrais nucleares, centrais fotovoltaicas e aerogeradores; no meio estão os sistemas de distribuição e transporte de energia, bem como a entidade reguladora; e do lado direito os vários consumidores finais tais como casas de habitação, edifícios de escritórios, áreas comerciais, e os próprios VEs, que podem ser agregados em parques próprios, por exemplo, nos núcleos urbanos.

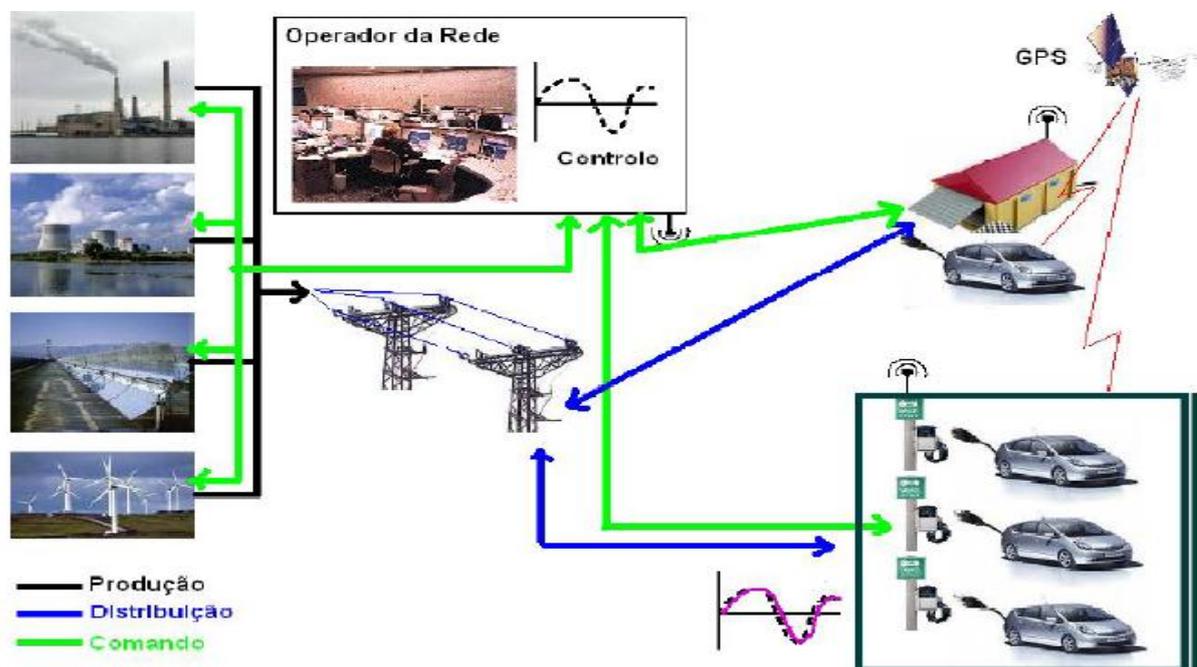


Figura 1.4. Esquema ilustrativo das ligações das linhas de potência e de comando, entre os veículos e o operador da rede elétrica.
Fonte: CABRAL, Nuno Ricardo, 2009

A linha preta indica que a energia flui das centrais convencionais e das centrais de energias alternativas para a rede, num único sentido, sendo a rede obrigada a receber toda a energia produzida pelas centrais de energias alternativas. A linha azul representa a ligação entre os VEs e a rede, bidirecional, em que num sentido estes passam a carregar as suas baterias e no sentido oposto são os VEs a fornecer energia à rede.

Os VEs poderão então ser recarregados, por exemplo, à noite, quando a energia é mais barata e debitá-la de dia quando esta é escassa e mais cara, funcionando assim como serviços auxiliares do tipo reserva girante ou de regulação.

A tecnologia V2G associada às redes inteligentes de energia se mostra bastante promissora. O conceito de microgeração (fotovoltaica e eólica) aplicado nos veículos elétricos constitui uma solução bastante sustentável. No contexto deste trabalho, a questão da análise de desempenho de VEs é fundamental para as redes inteligentes de energia, uma vez que os registros de recarga dos VEs possibilitam o desenvolvimento de modelos matemáticos para avaliação deste processo quando realizado por vários veículos.

2. SISTEMA DE PROPULSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS À BATERIA

Este capítulo apresenta uma descrição dos cinco componentes principais que constituem os veículos elétricos à bateria, cuja concepção é notoriamente mais simples que a dos veículos à combustão interna. A figura 2.1 mostra o diagrama esquemático da inter-relação entre eles. Descreve também as equações de força e potência de tração exercida no veículo.

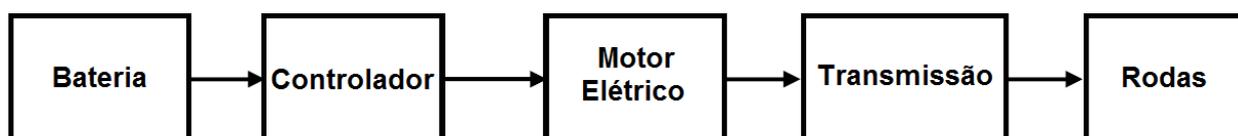


Figura 2.1. Diagrama esquemático da inter-relação dos componentes de um veículo elétrico.
Fonte: PECORELLI PERES, 2007.

2.1 Bateria

As baterias são dispositivos eletroquímicos capazes de acumular e manter a energia elétrica sob a forma de energia química e, em seguida transformá-la em energia elétrica. Podem fornecer energia sob a forma de tensão contínua durante determinados períodos de tempo, até que sua carga seja inteiramente consumida.

As primeiras pilhas elétricas foram projetadas e construídas pelo físico italiano Alessandro Volta em meados do século XVIII. Avanços futuros conduziram ao que hoje se denominam baterias, sendo estas recarregáveis.

Elas possuem uma ampla importância no que se refere ao armazenamento e posterior utilização da energia. Fontes intermitentes de energia, como a eólica e a solar, empregam muitas vezes bancos de baterias quando o vento ou luminosidade não é suficiente.

Existem diversos tipos de baterias utilizando elementos distintos em sua composição. Estas variações determinam diferentes densidades de energia e de potência. As baterias mais comuns são: chumbo ácido, lítio-íon, lítio-polímero, níquel-cádmio, níquel-zinco, níquel-ferro, sódio-enxofre, cloreto de sódio metálico (bateria Zebra), zinco cloro hidratado. Este capítulo enfatiza as do tipo chumbo-ácido que são comumente utilizadas em diversas aplicações, e também, em veículos elétricos nos quais é fundamental o conhecimento do estado de carga tendo em vista a previsão da sua autonomia. As baterias do tipo chumbo-ácido possuem uma

tecnologia sedimentada e avanços significativos. Constitui ainda o tipo mais acessível, devido às facilidades em sua reciclagem, custo e manufatura. Servem também de comparação com as demais tecnologias.

Segundo (LARMINIE, James; et al, 2003), com a finalidade de avaliar as características das baterias para veículos elétricos são adotados vários índices que relacionam a capacidade de energia e potência com o peso deste dispositivo, bem como com o volume. Destas relações resultam os termos energia específica (Wh/kg), potência específica (W/kg), densidade de energia (Wh/m³), densidade de potência (W/m³) e capacidade das baterias, que é quantificada pela unidade de carga elétrica ampère-hora (Ah), que representa a quantidade de carga elétrica transferida por uma corrente estável de um ampère durante uma hora. Esta forma de quantificar a capacidade das baterias permite comparar baterias com valores nominais de tensão diferentes sem a necessidade de cálculos para equiparação de baterias de distintos valores nominais de tensão.

Segundo (BOTTURA, Celso P; et al, 1989), a bateria para ser usada em tração exige uma série de pré-requisitos básicos, tais como:

- Máxima capacidade acumulada de energia dentro do compartimento do veículo, ou seja, energia específica e potência específica elevadas.
- Maior eficiência de descarga (a bateria deve ser capaz de fornecer picos de correntes com a mínima queda de tensão quando for submetida a sobrecargas).
- Número elevado de ciclos de carga e descarga sem degeneração de sua capacidade de armazenamento de energia.
- Grande resistência mecânica dos componentes capaz de suportar as vibrações durante o uso e eventuais choques nas trocas para a carga.

Além destes, serão necessários para viabilizar comercialmente a bateria tracionaria:

- Custo de fabricação baixo.
- Abundância da matéria-prima empregada na fabricação.
- Acrescenta-se que, de acordo com (PECORELLI PERES, et al, 2004), as baterias para tração elétrica devem manter as suas características para uma extensa faixa de temperatura.

Portanto qualquer desenvolvimento de sistema eletroquímico que não tenha tais requisitos tende a não se viabilizar para a utilização em grande escala.

É importante destacar que a ABNT reserva a norma de acumuladores elétricos para os conversores eletroquímicos de energia. Este texto optou pelo nome coloquial, como é mais conhecido.

2.1.1 Funcionamento das Baterias

Uma bateria é constituída por células formadas por um par de eletrodos mergulhados em uma substância denominada eletrólito. Um eletrodo apresenta polaridade positiva ou negativa, conhecidas como anodo ou catodo.

Uma semi-reação eletroquímica específica ocorre em cada eletrodo possibilitando o fluxo de elétrons e gerando uma diferença de potencial. Esta reação é denominada reação de oxirredução (“Redox”), caracterizada pela formação de um par anodo-catodo.

É importante ressaltar que a expressão oxidar, oriunda da analogia feita com reações químicas com o oxigênio, é utilizada para indicar a perda de elétrons em um determinado elemento. Esta analogia foi feita devido à perda de elétrons das substâncias envolvidas durante a reação. Entretanto, isto não significa que a reação de perda de elétrons ocorra somente na presença de oxigênio. Desta forma, de acordo com (KIEHNE, H. A, 2003), as equações do processo de descarga das baterias são:

Semi-reação da redução do eletrodo positivo



Semi-reação de oxidação do eletrodo negativo



Somando as equações (2.1) e (2.2), resulta a equação abaixo:



As equações (2.1), (2.2) e (2.3) mostram que os eletrodos são os responsáveis pela captura e liberação de elétrons, sendo o eletrólito o meio pelo qual ocorre o fluxo desses elétrons. Essa combinação gera um campo elétrico entre os dois eletrodos. O eletrólito pode ser líquido (mais utilizado), pastoso ou gelatinoso. A reação eletroquímica, processada no interior das células, permite o estabelecimento de uma diferença de potencial entre os eletrodos.

Devido ao fato das tensões geradas nas células serem ínfimas, para serem utilizadas em aplicações mais significativas, elas são ligadas em série e/ou paralelo e posteriormente encapsuladas, formando uma bateria. Em princípio, todas as células são completamente iguais entre si para minimizar a ocorrência de desequilíbrio de tensões entre as células.

Dependendo do processo, de carga ou descarga, ao qual a bateria esteja sendo submetida, os eletrodos podem assumir o papel de catodo ou anodo. Durante o processo de descarga o eletrodo positivo será o catodo da bateria e o eletrodo negativo será o anodo. Durante a recarga o comportamento químico se inverte e o eletrodo positivo passa a ser o anodo enquanto o eletrodo negativo torna-se o catodo da bateria.

2.1.2 Parâmetros Importantes e Classificações das Baterias

Neste tópico é feita uma análise prévia dos parâmetros e das classificações que devem ser consideradas no estudo das baterias.

- **Tensão das Baterias**

Uma bateria não possui valor de tensão estável em seus terminais, pois a amplitude da tensão varia em função da descarga dessa bateria durante o período de operação. Neste caso, a tensão da bateria diminui, pois a mesma está no modo de descarga. No processo inverso (recarga), considerando que ocorre uma ligeira alteração da tensão da bateria, este aspecto deve ser levado em consideração no controle da recarga para evitar uma sobretensão em seus terminais.

De acordo com os fabricantes, a especificação dos valores nominais das baterias possuem uma faixa de variação que está diretamente ligada ao estado de carga delas. Geralmente, esses valores nominais são múltiplos de 6 V.

Quando a bateria está completamente carregada, o valor apresentado nos seus terminais é denominado tensão de flutuação. Este valor é definido pela literatura técnica e pelos seus fabricantes como referência para realização da recarga. A bateria STH-47, utilizada na conversão da Kombi, possui valor de 2,27 V \pm 1 % por célula à 25°C.

- **Estado de Carga**

O percentual de carga que se encontra na bateria é chamado de estado de carga, do inglês SoC (State of Charge). Quando a bateria está totalmente carregada esse valor é igual a 100%. No caso inverso, quando a bateria está completamente descarregada, o parâmetro SoC será de 0 %. Ocorrendo sobrecarga da bateria, o SoC ultrapassa o valor de 100%. Essa situação deve ser evitada, pois reduz a vida útil da bateria (JANTHARAMIN, N, 2008).

Alternativamente, utiliza-se o termo DoD (Depth of Discharge) que corresponde ao inverso do SoC. Neste caso, quando o DoD é quantificado em 100% a bateria está totalmente descarregada.

Apesar do limite inferior do SoC ser zero, é conveniente serem evitadas descargas profundas. Esta precaução ocorre devido à ligação existente entre os fatores profundidade de descarga e vida útil da bateria (JANTHARAMIN, N, 2008). A profundidade de descarga (DoD) geralmente prejudica a capacidade de recarga da bateria, atuando especificamente em cada tipo. Por exemplo, na bateria chumbo-ácido ocorre a sulfurização do eletrodo (material ativo) devido às descargas profundas frequentes. Esta sulfurização não é eliminada por completo num processo usual de recarga, resultando na perda da capacidade e desempenho da bateria, além de favorecer o aumento da temperatura na recarga (KIEHNE, H. A, 2003). No caso das baterias chumbo-ácido, por exemplo, pode-se verificar a perda da capacidade da bateria ao longo da sua vida útil na figura 2.2. Percebe-se na figura que a vida útil da bateria é sensivelmente reduzida em regimes de operação onde ocorrem descargas profundas. Efeitos similares, mas com explicações diferentes, ocorrem com outros tipos de baterias, como as de níquel, por exemplo, mas não serão abordados neste trabalho.

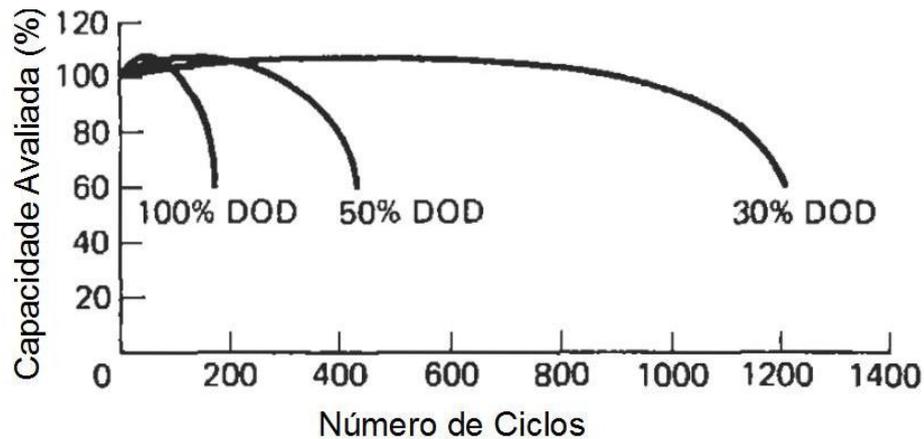


Figura 2.2. Perda da capacidade de uma bateria chumbo-ácido.
Fonte: CROMPTON, T. R, 2000

- **Temperatura**

Outro parâmetro que influencia os níveis de tensão da bateria é a temperatura, que está ligada à redução do número de ciclos de operação (carga e descarga), diminuindo a vida útil da bateria (LINDEN, D; et al, 2001).

A temperatura também interfere no tempo de conservação da bateria quando armazenada, ou seja, quando não estiver sendo usada. O gráfico da figura 2.3 mostra que quanto maior for a temperatura, menor é o tempo de conservação da bateria chumbo-ácido regulada à válvula.

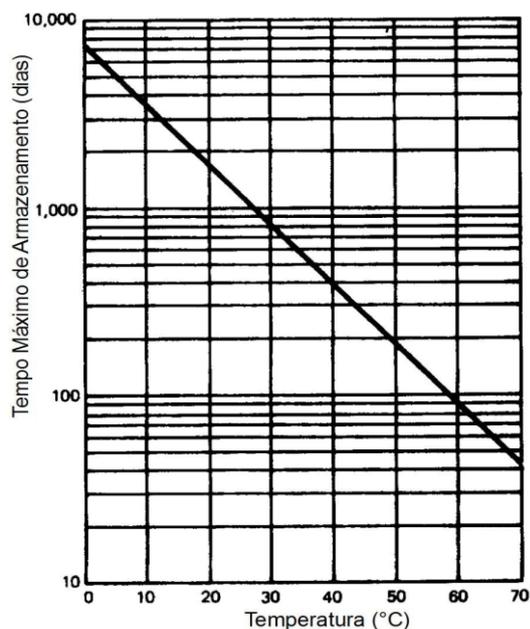


Figura 2.3. Interferência da temperatura ambiente no tempo máximo de armazenamento de uma bateria chumbo-ácido regulada a válvula bateria.

Fonte: LINDEN, D; et al, 2001.

Para complementar, a figura 2.4 apresenta um gráfico da relação entre a capacidade nominal da bateria e a temperatura ambiente, para bateria chumbo-ácido, durante o período em que a bateria se encontra fora de operação.

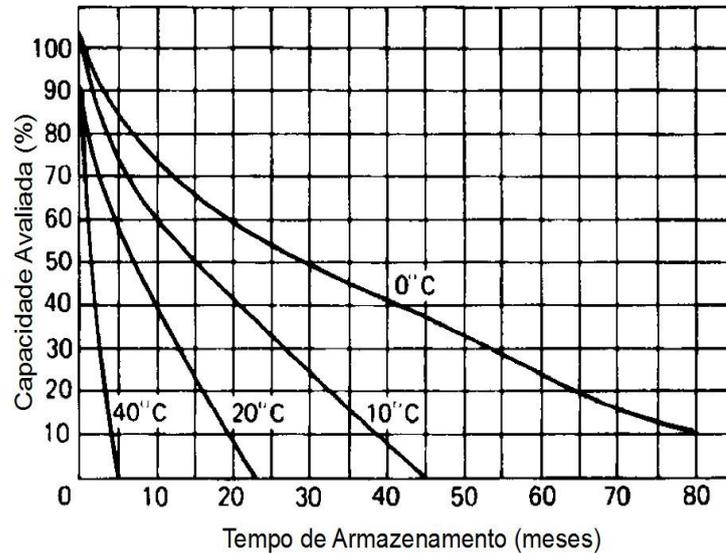


Figura 2.4. Capacidade da bateria chumbo-ácido durante o período de inatividade.
Fonte: LINDEN, D; et al, 2001.

A capacidade nominal da bateria, durante o período de operação, também é influenciada diretamente pela temperatura, de acordo com o gráfico da figura 2.5. Este gráfico se refere a uma bateria de hidreto de níquel metálico que, embora não faça parte do escopo desse trabalho, serve de exemplo da atuação da temperatura durante o ciclo de operação de uma bateria.

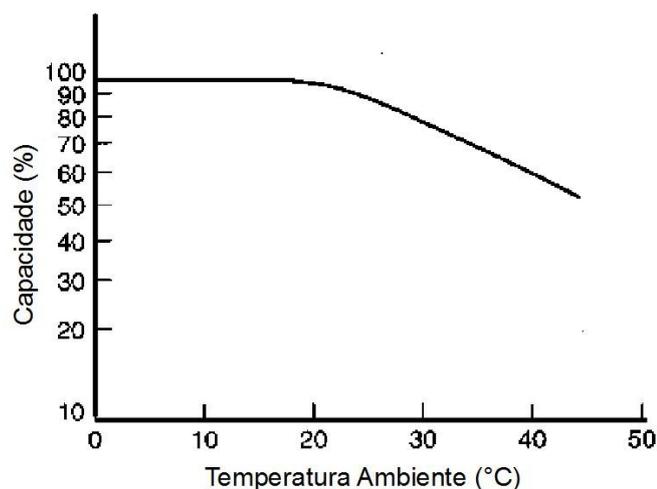


Figura 2.5. Capacidade de uma bateria de hidreto de níquel metálico em função da temperatura.
Fonte: LINDEN, D; et al, 2001.

Os fatores anteriormente expostos são mais do que suficientes para qualificar a temperatura como uma possível variável de controle no processo de recarga da

bateria. Entretanto, em relação às demais baterias, as de chumbo-ácido apresentam menor suscetibilidade à influência da temperatura (LINDEN, D; et al, 2001). O gráfico apresentado na figura 2.6 mostra um comparativo do comportamento da energia específica (ou densidade de energia) de diversas baterias em função da temperatura.

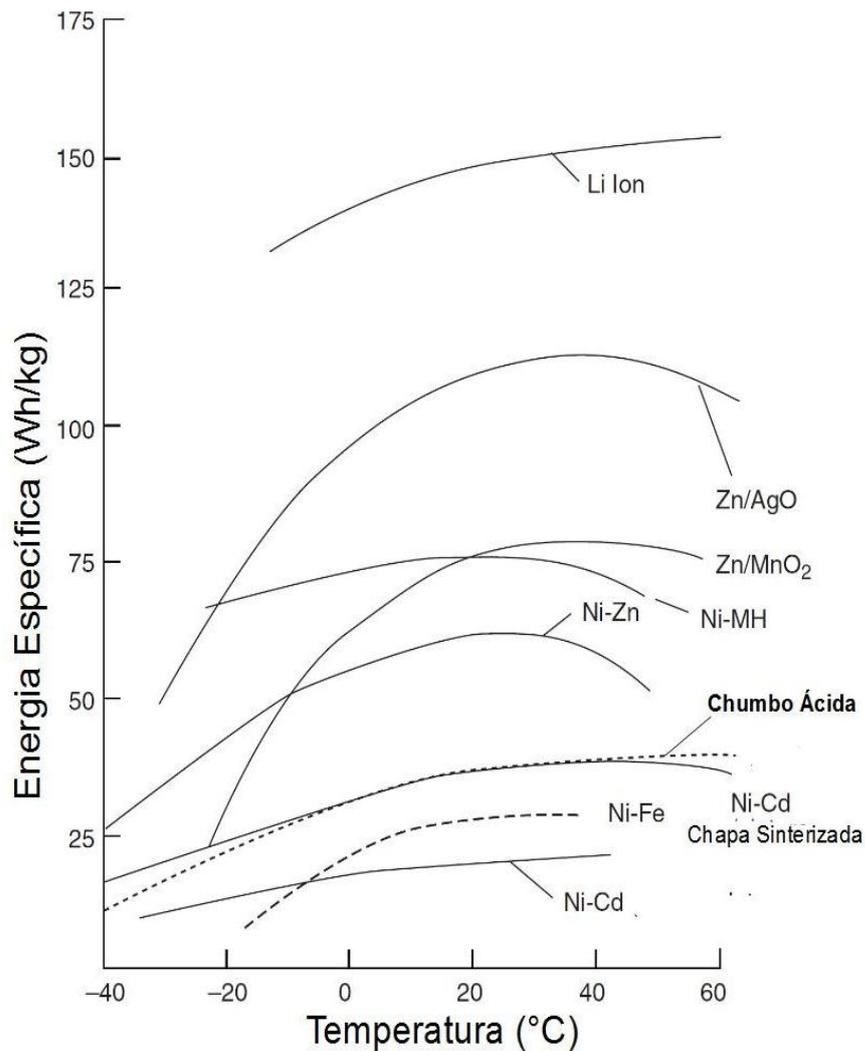


Figura 2.6. Energia específica em Wh/kg em função da temperatura.
Fonte: LINDEN, D; et al, 2001.

A curva que representa a bateria chumbo-ácido possui menor curvatura e uma menor variação no valor da energia específica em função da temperatura, em relação à maioria das curvas representativas das demais baterias.

- **Curvas de Raggone**

Outros parâmetros importantes para o estudo das baterias são vistos no gráfico da figura 2.7, que mostra as curvas de Raggone para diversos tipos de baterias. Essas curvas relacionam energia específica e potência específica por tipo de bateria.

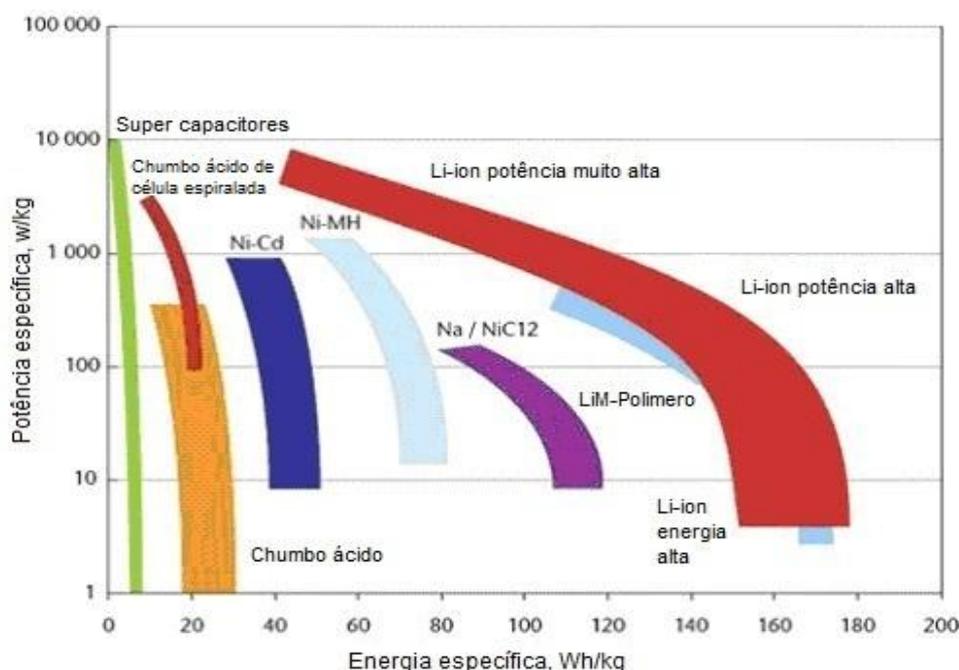


Figura 2.7. Curvas de Raggone por tipo de bateria.

Fonte: Traduzida de <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0040>

As baterias chumbo-ácido possuem baixa energia específica, portanto, este tipo de bateria costuma ser muito pesada, sendo muito utilizada em veículos elétricos não rodoviários, como, por exemplo, empilhadeiras e carros de transporte interno de indústrias e empresas. Em contrapartida as baterias zebra (Na/NiC12), lítio-íon (Li-ion) e lítio-polímero possuem energia específica muito alta, o que as torna mais indicadas para o uso em veículos elétricos rodoviários, pois quanto maior a energia específica da bateria, maior será a sua autonomia. Além disso, tais baterias são consideravelmente mais leves do que a bateria chumbo-ácido. Entretanto, o custo dessas baterias é mais elevado. Neste sentido, para maior eficiência energética do setor de transporte, o Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE e o Laboratório de Políticas Públicas e Justiça Fiscal – LAPPJUS, ambos da UERJ, desenvolvem trabalhos conjuntos visando a diminuição de impostos para componentes de veículos elétricos.

- **Classificações das Baterias**

Segundo (CROMPTON, T. R, 2000) e (KIEHNE, H. A, 2003) as baterias podem ser divididas em dois grupos:

1. Baterias Primárias:

São desenvolvidas para conversão de energia química em elétrica de forma irreversível. Fornecem toda energia uma única vez, não permitindo a recarga das mesmas.

2. Baterias Secundárias:

Diferentemente das primárias, podem ser recarregadas, pois apresentam uma reação, entre os eletrodos e o eletrólito, que é reversível.

Há mais um critério de classificação das baterias segundo o regime de descarga ao qual sejam expostas. Para isto, adota-se a denominação “Cxx” com o intuito de indicar a capacidade de descarga da bateria. A denominação “Cxx” indica que a bateria é capaz de fornecer corrente constante correspondente à divisão da capacidade da bateria, em Ah, por “xx”. Assinala-se que a capacidade nominal da bateria é associada à designação “Cxx”. Essa classificação visa atender ao usuário para que este tenha uma caracterização, de forma geral, de como a bateria se comporta, se a mesma é adequada a uma determinada finalidade. Contudo, o processo de especificação de uma bateria para cargas dinâmicas necessita de um processo mais detalhado com dados mais relevantes. Estes dados são fornecidos em tabelas de referência elaborada pelos fabricantes. Estas tabelas apresentam os intervalos de tempo que a bateria consegue manter um determinado nível de corrente de descarga. Como exemplo, a tabela 2.1 apresenta a demanda máxima de corrente que a uma determinada bateria suporta e o respectivo período de tempo para este evento.

Tabela 2.1. Tabela de capacidade de descarga das baterias chumbo-ácido utilizadas no projeto de conversão da Kombi.

Fonte: Saturnia Ltda, 2006

TIPO	CORRENTE DE DESCARGA EM "A" TENSÃO FINAL 1,75 V/ELEM. REF. 25°C														
	1 min	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	25 min.	30 min.	35 min.	40 min.	45 min.	1 h	2 h	3 h	10 h	20 H
STH 23-12	71	60	45,0	35,3	30,2	26,2	23,5	21	19	17,5	14,0	8,5	6,3	2,3	1,25
STH 36-12	111	95	75,0	60,0	48,1	41,5	36,3	32,3	29,3	27	22,0	13,7	9,9	3,6	1,90
STH 47-12	147	126	100	80,0	64,8	55,7	48,4	42,5	38,5	35,5	29,0	18,0	13,0	4,7	2,50
STH 60-12	184	155	123	100	81	69,5	60,5	53,6	48,5	44,7	37,0	22,7	16,4	6,0	3,15
STH 95 -6	293	248	195	158	129	110	96,0	85,0	77,0	71,0	58,0	36,0	26,0	9,5	5,00
STH 120-6	366	309	245	200	162	137	120	106	96,3	88,8	73,0	45,0	32,5	12,0	6,25
STH 150-12	398	336	267	218	177	150	132	117	107	99	82,0	51,0	37,3	14,0	7,5

2.1.3 Bateria Chumbo-Ácido

Sendo considerada universal, é a bateria secundária mais antiga que existe. Apresenta muitas vantagens em relação às demais baterias, como baixa resistência interna, grande capacidade de recuperação ao longo dos ciclos de carga e descarga, além do baixo custo dos componentes (BOTTURA, Celso P; et al, 1989). Sua desvantagem é a baixa densidade de energia (em kWh/kg).

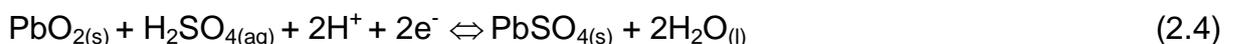
A linha estacionária, voltada para sistemas com demanda de carga constante, é amplamente utilizada em dispositivos de *Nobreak* em repetidoras de sinais, servidores de internet e comunicação, além de sistemas industriais onde há necessidade de operação ininterrupta, mesmo durante os períodos onde ocorram problemas com a rede elétrica.

A linha tracionária atende os sistemas onde a carga apresenta uma dinâmica que exige períodos de baixos níveis de corrente seguido de outros de correntes extremamente elevadas. Esta linha de baterias é utilizada principalmente no setor industrial em empilhadeiras e em demais veículos elétricos.

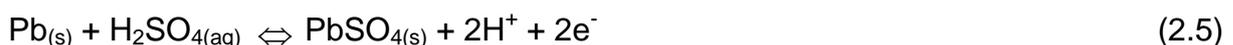
A bateria chumbo-ácido é composta internamente por placas de chumbo, representando os eletrodos da bateria, imersas em ácido sulfúrico. Seu funcionamento segue as regras estabelecidas no item 2.1.1, com o seu processo de funcionamento representado pelas equações (2.4) à (2.6).

Processo de Carga \leftrightarrow Processo de Descarga

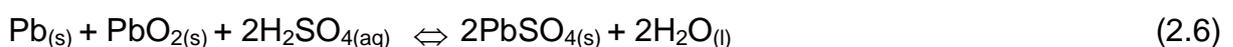
Eletrodo Positivo



Eletrodo Negativo



Total



Durante o funcionamento, a passagem de corrente causa a transformação do chumbo metálico (Pb) da placa positiva em peróxido de chumbo (PbO₂), sem que

para isso haja alguma alteração química na placa negativa. Esta mudança resulta em uma força eletromotriz entre as duas placas.

No processo de descarga o peróxido de chumbo (PbO_2) da placa positiva é convertido em sulfato de chumbo (PbSO_4). O mesmo também ocorre com a placa negativa, reduzindo a força eletromotriz existente entre as placas.

Durante o funcionamento da bateria, uma reação secundária indesejável faz com que pares de íons de hidrogênio (H^+) se unam com pares de elétrons (e^-), formando, assim, moléculas de hidrogênio. Este fenômeno é chamado de evolução do hidrogênio (KIEHNE, H. A, 2003). Por este motivo, é altamente recomendável que se mantenha o devido fluxo de ar durante a operação pelo caráter altamente combustível deste gás.

O eletrólito desta bateria sofre variações durante o ciclo de operação, obrigando o usuário a repor a água evaporada durante o processo de recarga. Este processo não se faz necessário nas baterias seladas, que são as mais comumente utilizadas hoje em dia, pois são reguladas por uma válvula que impede a dispersão do vapor de água. Contudo, esta válvula permite a saída de outros gases, como, por exemplo, o hidrogênio.

Acrescenta-se que o banco de baterias da Kombi convertida pela UERJ e CEFET-RJ emprega baterias chumbo-ácido, conforme figura 1.3. Como esta Kombi serve de laboratório para estas entidades, considera-se oportuno mencionar o projeto final de graduação, intitulado “*Projeto de Conversores Eletrônicos para Recarga de Baterias Secundárias*” (FREITAS, Cleiton M; 2012), orientado pelo Professor Luís Fernando Corrêa Monteiro da UERJ, que apresenta o desenvolvimento de um carregador de baterias para este veículo. Também, neste trabalho, consta um circuito apropriado para a representação do modelo da bateria chumbo-ácido, conforme mostra a figura 2.8:

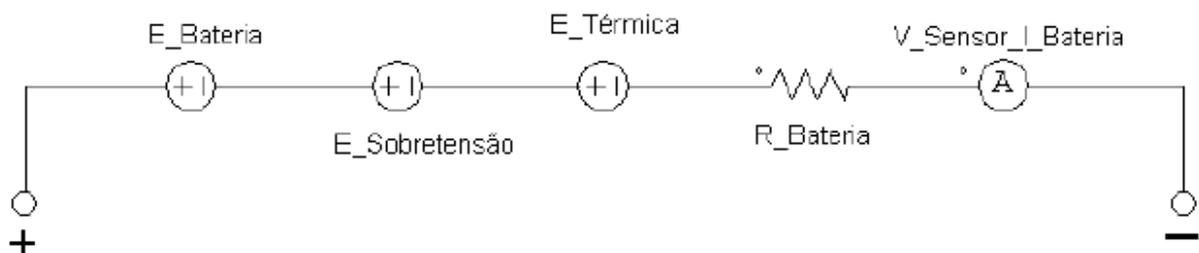


Figura 2.8. Modelo esquemático da bateria chumbo-ácido.

V_Sensor_I_Bateria: Sensor de corrente cuja finalidade é puramente computacional. É responsável por aferir a corrente que flui pelo circuito da bateria e “configurá-la” nos subcircuitos decada bloco.

R_Bateria: Representa a resistência interna da bateria. Sua configuração está de acordo com o valor fornecido pelo manual de operação das baterias STH da SATURNIA. Um ponto a ressaltar é que o valor obtido, no manual da bateria, é referente ao estado de descarga. Contudo, a falta do valor específico da resistência interna para o estado de recarga obriga a utilização deste parâmetro.

E_Bateria: Representa a tensão nas células da bateria.

2.1.4 Desafios Tecnológicos em Busca de Maior Autonomia

O gráfico da figura 2.9 mostra o longo espaço tecnológico que se tem pela frente em busca de autonomia comparável aos veículos à combustão interna - VCI. Os VCI, já alcançaram o seu limite tecnológico de eficiência e tanto é verdade que um dos carros mais vendidos nos Estados Unidos, Prius, é elétrico híbrido. Portanto isto caracteriza cada vez mais a mudança de paradigma irreversível que está sendo constatada nos últimos anos em relação ao uso dos veículos elétricos.

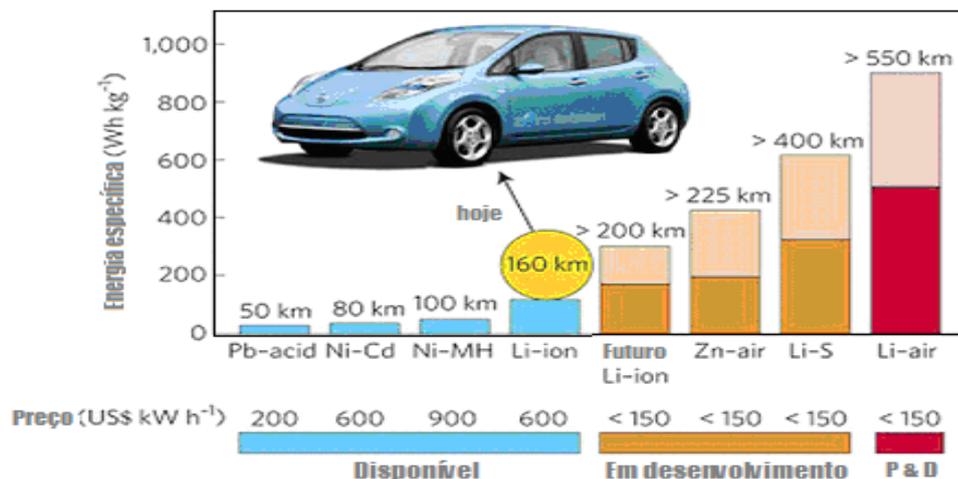


Figura 2.9. Autonomia de veículos elétricos por tipo de bateria.

Fonte: Traduzida de <http://www.electric-vehiclenews.com/2013/07/new-all-solid-sulfur-based-battery.html>

2.2 Controlador e Motor Elétrico

Segundo (CABRAL, Nuno Ricardo; et al, 2009), do ponto de vista industrial, os motores mais atrativos para veículos elétricos são: motor de corrente contínua, motor de indução, motor síncrono de ímã permanente e motor de relutância variável.

Os motores síncronos e os de ímã permanente são os mais escolhidos pelos fabricantes, pois os motores de relutância variável estão em fase de desenvolvimento e os de corrente contínua estão entrando em desuso, devido ao elevado custo, se comparado aos motores de corrente alternada e principalmente de indução.

De acordo com a tabela 2.2, os motores são avaliados numa escala de 0 a 10, (sendo 0 a pior pontuação e 10 a melhor), em 6 das suas características mais importantes para a aplicação em veículos elétricos.

Tabela 2.2. Características dos motores usados em veículos elétricos.
Fonte: tabela traduzida de CABRAL, Nuno Ricardo; et al, 2009

	Motor CC	Motor de Indução	Motor Síncrono de Ímã Permanente	Motor de Relutância Comutada
Densidade de potência	5	7	10	7
Eficiência	5	7	10	7
Controlabilidade	10	7	8	7
Confiança/Segurança	5	10	8	10
Durabilidade	10	10	8	8
Custo	8	10	6	7
Total	43	51	50	46

Com o desenvolvimento do projeto de motores de ímã permanente e com a redução do seu custo, que deverá ocorrer na proporção que o seu uso aumente, as aplicações de tração elétrica serão dominadas por este tipo de motor.

O controlador de velocidade do motor dos atuais veículos elétricos é formado por inversor que, variando a frequência do sinal de tensão que chega em seus terminais, varia-se a velocidade do veículo, pois em motores síncronos ou de indução, a velocidade de rotação varia com a frequência do sinal de tensão que o alimenta. Com o advento dos veículos elétricos, os inversores passaram a ser utilizados não só na indústria, mas também como controladores de velocidade desses veículos. Atualmente, o controle de velocidade dos conversores eletromecânicos de energia dos carros elétricos emprega o chamado controle

vetorial (FRANCHI, Claiton M., 2011). A figura 2.10 apresenta exemplo de comparação entre inversores industriais e os utilizados em veículos elétricos.



Uma "família" de Inversores de Frequência de Propósito Geral (Industrial) de 2,2kW até 45kW
Caixa Plástica - Com Teclado e Mostrador para Interação Humana



Um Inversor de Frequência Automotivo de 50kW do Mitsubishi i-MiEV - Caixa em Aço - Sem Teclado - Sem mostrador

Figura 2.10. Exemplo de comparação de inversores utilizados na indústria e nos veículos elétricos.

Fonte: <http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2012/07/os-inversores-de-frequenciados.html>

2.3 Transmissão do Movimento

De modo geral, os veículos à combustão interna funcionam com a configuração esquemática da figura 2.11, que mostra o sistema de transmissão do movimento.

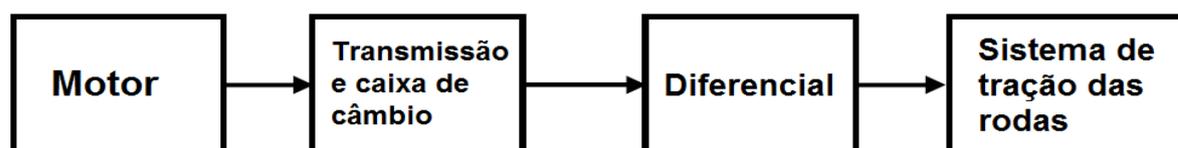


Figura 2.11. Sistema de transmissão do movimento de veículos à combustão interna.

Fonte: PECORELLI PERES, 1997.

De acordo com (PECORELLI PERES, 1997) os veículos elétricos utilizam sistemas de transmissão desenvolvidos para os veículos à combustão interna. Entretanto, as características dos motores elétricos diferem significativamente dos motores à combustão interna. Em geral, o motor elétrico dispensa a necessidade de ficar ocioso quando o veículo está parado, por exemplo, num semáforo. Além disso, este motor é capaz de desenvolver grandes torques em baixas velocidades e numa enorme faixa de variação. Isso possibilita o desenvolvimento de sistemas de transmissão mais leves, mais compactos e eficientes ao se levar em conta estas vantagens. Entretanto, algumas questões cotidianamente levantadas sobre este assunto, porém, não totalmente respondidas são: tração dianteira, traseira ou nas

quatro rodas? Quantos motores devem ser utilizados? Há necessidade de marchas ou será melhor um controle direto e contínuo? Neste caso, quantas marchas seria ideal? Alguns projetos atuais procuram responder estas perguntas. De qualquer modo, fica bem claro que o sistema de transmissão nos veículos elétricos, para uma melhor adequação, deverá ser desenvolvido com o motor a ser utilizado.

2.4 Potência de Tração Exercida nos Veículos

De acordo com (PECORELLI PERES, 2007) os potenciais necessários para deslocar qualquer veículo são:

$$P_1 = M_e \cdot a(t) \cdot v(t) \quad (2.7)$$

$$P_{RR} = K \cdot W_v \cdot g \cdot v(t) \cdot \cos(\theta(t)) \quad (2.8)$$

$$P_{AD} = \frac{\rho \cdot A_F \cdot C_D \cdot v^3(t)}{2} \quad (2.9)$$

$$P_D = W_v \cdot g \cdot v(t) \cdot \sin(\theta(t)) \quad (2.10)$$

Onde, P_1 , P_{RR} , P_{AD} e P_D são, respectivamente, as potências para vencer a inércia, a resistência dos enrolamentos, a resistência aerodinâmica, e a resistência para vencer a inclinação do percurso, sendo:

M_e – Massa equivalente do veículo em kg, incluindo a inércia rotacional ($M_e=1,03 \cdot W_v$).

W_v – Massa do veículo em kg.

$a(t)$ – Aceleração do veículo em m/s^2 .

$v(t)$ – Velocidade do veículo em m/s.

K – Coeficiente de resistência cinética do rolamento.

g – Aceleração da gravidade em m/s^2 .

ρ – Densidade volumétrica do ar em kg/m^3 .

A_F – Área frontal do veículo em m^2 .

C_D – Coeficiente de resistência aerodinâmica.

θ – Inclinação do percurso em graus.

t – Tempo em segundos.

$$K = 0,033 \left(1 + \frac{v^2(t)}{1500} \right) \quad (2.11)$$

$$P_T = P_1 + P_{RR} + P_{AD} + P_D \quad (2.12)$$

Onde, P_T é a potência total desenvolvida pelo veículo.

$$E = \frac{1}{36 \cdot 10^5 n_A} \int_{t_0}^{t_1} P(t) d(t) \quad (2.13)$$

Onde n_A é o rendimento total do sistema, ou seja, o produto entre os rendimentos de cada componente, sendo E a energia consumida no percurso em kWh e $P(t)$ é a potência fornecida pela bateria em Watt.

3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

O presente capítulo apresenta uma metodologia de avaliação da eficiência de veículos elétricos, através de testes realizados com a Kombi e uma scooter elétrica. Esta metodologia tem como referência principal os trabalhos desenvolvidos na primeira pesquisa no Brasil sobre o tema veículos elétricos, no âmbito dos projetos de P&D da Agência Nacional de Energia – ANEEL em parceria com a Ampla Energia e Serviços S.A entre 2006 e 2008 (PECORELLI PERES, et al, 2009).

3.1 Modo de Tração

Para a realização de testes no modo de tração, ou seja, com a Kombi em movimento, foi necessária a utilização de infra-estrutura projetada no Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV, localizado Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis - CEPER da UERJ, para suporte dos instrumentos envolvidos na aquisição de dados. Conforme (KREMPSEK, André, FERREIRA, Alan, 2012) esta estrutura além de permitir que os instrumentos fiquem fixos e seguros durante todo o percurso dos testes com a Kombi, garante que os instrumentos de medição e aquisição de dados possam ser utilizados de maneira segura durante testes de tração. As figuras 3.1 e 3.2 apresentam, respectivamente, a vista frontal e lateral da infra-estrutura do suporte de instrumentos de aquisição de dados.



Figura 3.1. Vista frontal da estrutura de suporte de aquisição de dados. Figura: Acervo pessoal.



Figura 3.2. Vista lateral da estrutura de suporte de aquisição de dados. Figura: Acervo pessoal.

A figura 3.3, conforme (NOGUEIRA MACHADO, Felipe; et al, 2010), apresenta o esquema interno da Kombi, com uma seta indicando a localização da estrutura do suporte para instrumentos de medição e aquisição de dados.



Figura 3.3. Esquema da Kombi com a localização da estrutura de suporte para instrumentos de aquisição de dados
Figura: Felipe N. Machado.

Nos testes de tração ou descarga, o banco de baterias está, inicialmente, 100% carregado. Durante o percurso de duração “t”, um instrumento de medição e aquisição de dados registra tensão e corrente fornecida pelas baterias de tração.

A energia gasta pelo banco de baterias no modo de tração da Kombi ou de qualquer outro veículo elétrico pode ser calculada pela equação (3.1).

$$E_d = \int_0^t v_d(t) \times i_d(t) dt = \int_0^t p_d(t) dt \quad (3.1)$$

Sendo:

E_d - Energia gasta no modo de tração ou descarga.

$v_d(t)$ - Tensão do banco de baterias, medida no modo de tração.

$i_d(t)$ - Corrente de tração, medida, do banco de baterias.

$p_d(t)$ - Potência gasta no percurso.

Um hodômetro instalado na Kombi registra a distância “d” percorrida durante o teste no modo de tração. De posse da distância percorrida, pode-se calcular o desempenho energético por quilômetro da descarga das baterias da Kombi, bem como de qualquer outro veículo elétrico, através da equação (3.2).

$$ef_{bat} = \frac{E_d}{d} \quad (3.2)$$

Sendo:

ef_{bat} - Eficiência do banco de baterias do VE em descarga.

E_d - Energia gasta no modo de tração ou descarga.

d - Distância percorrida durante o modo de tração ou descarga.

3.2 Modo de Recarga

Nos testes de recarga, que são realizados após o ensaio com a Kombi em movimento, a bateria de tração é submetida à reposição da carga despendida para a realização de um trajeto específico. Para tais ensaios, foi necessária a utilização de um painel confeccionado, sob a orientação do coordenador do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE, especialmente projetado para conexão de instrumentos de medição e aquisição de dados, que registram tensão e corrente de recarga do banco de baterias. Este painel é alimentado em tensão de 220 V através de uma tomada, tipo industrial 2 P+T, conforme mostra a figura 3.4.



Figura 3.4. Painel de recarga, com conexões disponíveis para equipamentos de medição e aquisição de dados, conectado a rede elétrica.
Figura: Nelson Peres.

De posse da tensão e correntes registradas pelos instrumentos de medição e aquisição de dados, pode-se calcular a energia de reposição do banco de baterias da Kombi ou de qualquer outro veículo elétrico, através da equação (3.3).

$$E_R = \int_0^t v_R(t) \times i_R(t) dt = \int_0^t p_R(t) dt \quad (3.3)$$

Sendo:

E_R - Energia de reposição do banco de baterias.

$v_R(t)$ - Tensão de reposição de carga, medida, do banco de baterias.

$i_R(t)$ - Corrente de reposição de carga, medida, do banco de baterias.

$p_R(t)$ - Potência de reposição de carga do banco de baterias.

3.3 Cálculo da Eficiência do Veículo Elétrico e do Rendimento da Recarga

Calculando-se a energia de reposição do banco de baterias, pode-se calcular a eficiência do veículo elétrico através da equação (3.4).

$$ef = \frac{E_R}{d} \quad (3.4)$$

Sendo:

ef – Eficiência do veículo elétrico.

O rendimento do processo de recarga é dado pela equação (3.5).

$$\eta = \frac{E_R - E_d}{E_R} \times 100\% \quad (3.5)$$

Sendo:

η - Rendimento do veículo elétrico no processo de recarga.

A diferença $E_R - E_d$ refere-se às perdas no processo de recarga.

3.4 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Tração

3.4.1 Equipamentos Especiais

Existem analisadores especiais da performance de veículos elétricos que são importados, entretanto com instrumentação usual de laboratório pode-se avaliar o veículo. Contudo, cabe mencionar o equipamento, adquirido pelo GRUVE, Data Acquisition System – DAS, projetado pela empresa suíça Pitágora S.A, abordado em (KREMPSER, André; et al, 2011). Este equipamento destina-se à aquisição de sinais da tensão, corrente e carga do banco de baterias de tração, bem como o registro de parâmetros como velocidade e altura do veículo em relação ao nível do mar. O DAS é muito utilizado para obter dados destinados a projetos em larga escala de veículos elétricos para fabricantes de baterias com o objetivo de melhorar o desempenho das

mesmas e dos veículos. Este sistema fornece toda a informação estatística necessária, com a precisão requerida. As figuras 3.5 e 3.6 mostram, respectivamente, o esquema de ligação do DAS em veículos elétricos e na Kombi utilizada para testes.

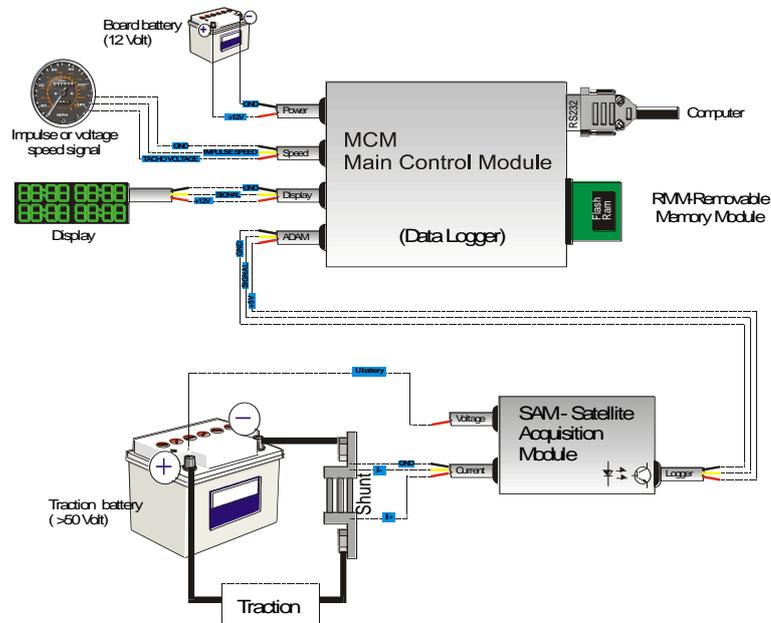


Figura 3.5. Esquema de ligação do DAS em veículos elétricos.
Figura: Pitagora SA.

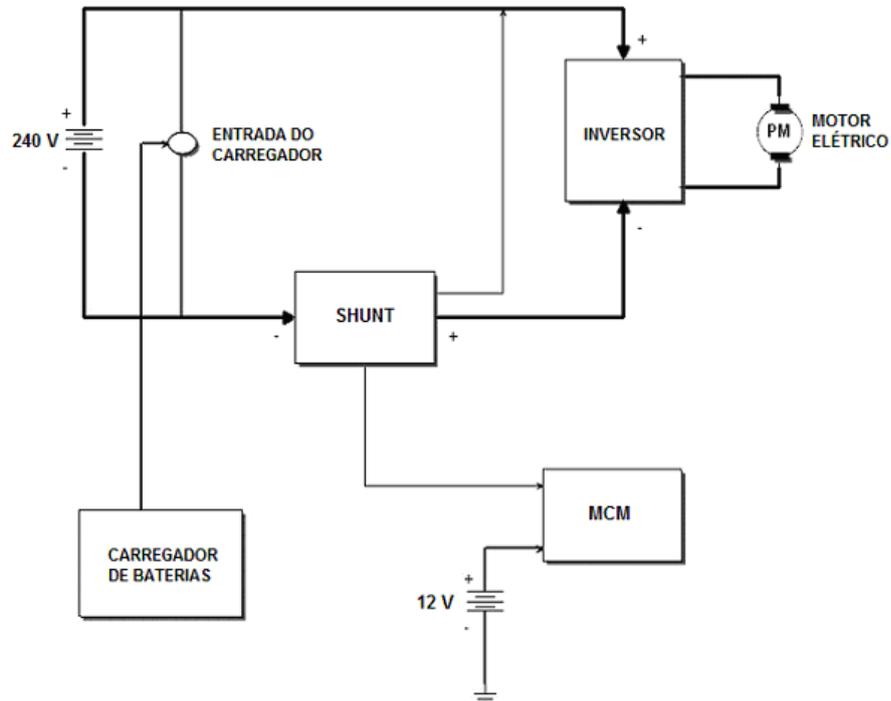


Figura 3.6. Diagrama de ligação do DAS no banco de baterias de 240 V da Kombi, ressaltando a entrada para carregador de baterias.
Figura: elaboração própria.

Devido a problemas técnicos verificados no DAS não foi possível, em tempo hábil, saná-los para que o equipamento pudesse ser utilizado nos ensaios de tração da Kombi, descritos nos capítulos subsequentes deste trabalho. Entretanto, antes do referido problema ocorrer, foi feito um teste de tração ou descarga, em vazio, com uma scooter elétrica, de potência nominal 250 W, no LSPV, para verificação do funcionamento do equipamento. A figura 3.7 mostra o gráfico com registro da tensão e corrente de fonte eletroquímica chumbo-ácido, tensão nominal de 24 V, variando-se a velocidade do motor de corrente contínua em vazio, gerado pela interface do DAS. O gráfico inferior registra a altitude de percurso, que no caso é nula.

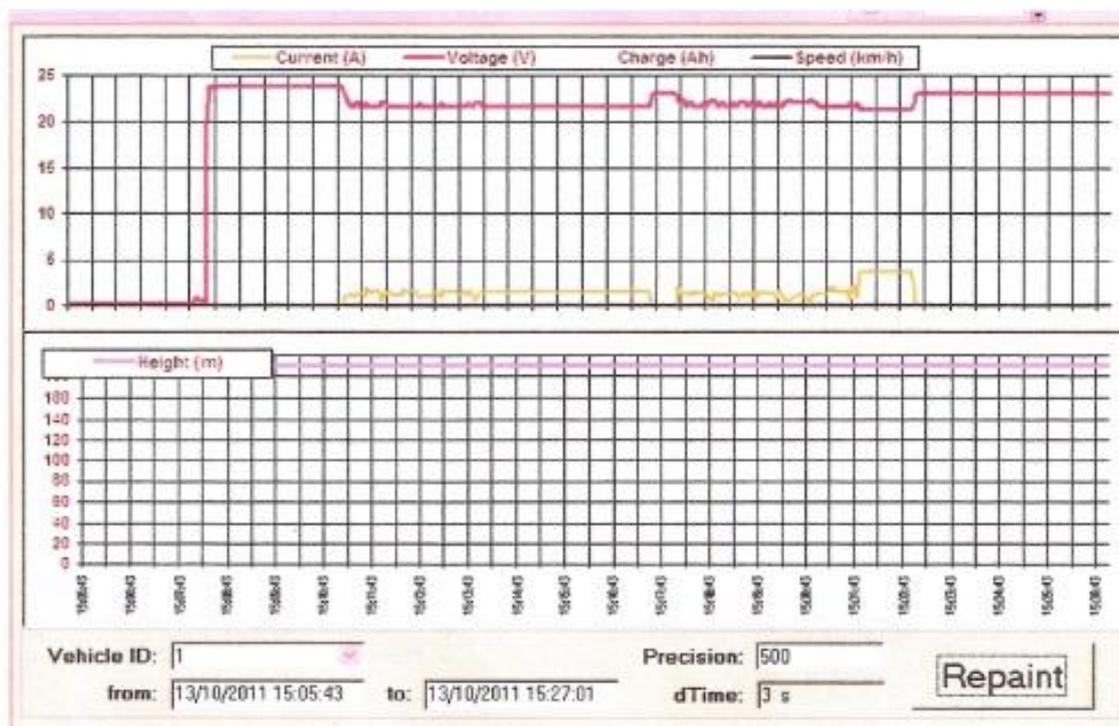


Figura 3.7. Gráfico com registro de tensão e corrente de fonte eletroquímica chumbo ácida, tensão nominal de 24 V, variando-se a velocidade do motor de corrente contínua em vazio, gerado pela interface do DAS. Controle de velocidade com MOSFET.

Figura: Acervo pessoal.

3.4.2 Equipamentos Convencionais

O instrumento utilizado tanto nos testes no modo de descarga da bateria (veículo em tração), quanto nos de recarga da Kombi, devido a sua versatilidade e facilidade de manuseio, é o osciloscópio portátil Fluke 125 Industrial ScopeMeter, neste trabalho, será chamado simplesmente de ScopeMeter, fabricado pela empresa norte americana Fluke Corporation. Este instrumento registra tensão, corrente, potência, fator de potência, sinais de baixas e altas frequências, pois possui range

de 40 MHz, bem como: continuidade, capacitância e harmônicos na rede elétrica. As figuras 3.8 e 3.9 mostram, respectivamente, o ScopeMeter e o diagrama de ligação do mesmo no banco de baterias de 240 V da Kombi no modo de tração.

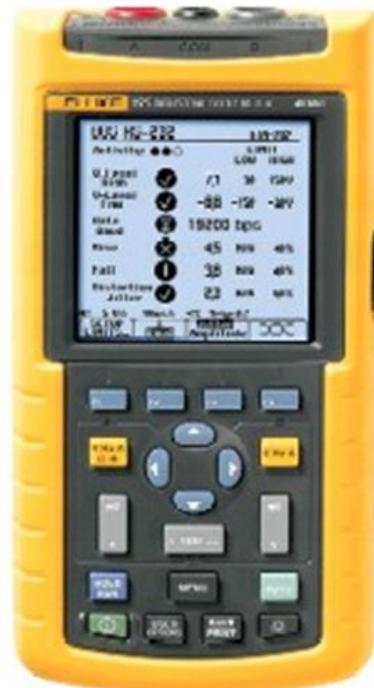


Figura 3.8. Fluke 125 Industrial ScopeMeter.
Figura: Acervo pessoal.

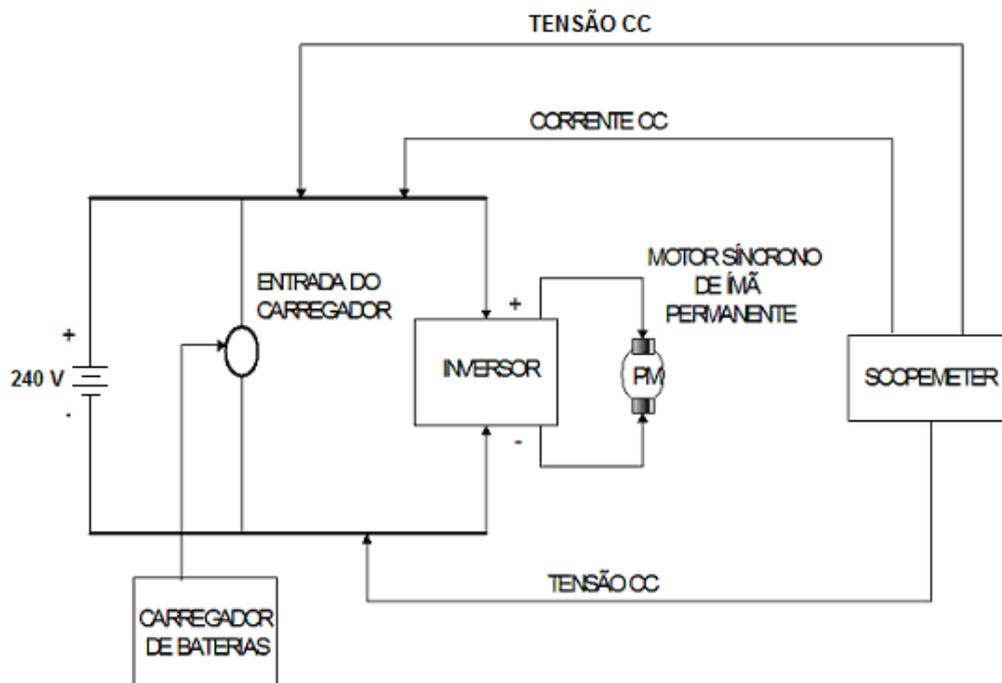


Figura 3.9. Diagrama de ligação do ScopeMeter no banco de baterias de 240 V da Kombi, no modo de tração, ressaltando a entrada para carregador de bateria.
Figura: Elaboração própria.

A figura 3.10 mostra o ScopeMeter instalado no interior da Kombi, durante um teste no modo de tração realizado pelo autor deste trabalho.



Figura 3.10. ScopeMeter instalado no interior da Kombi durante teste de tração.
Figura: Acervo pessoal.

O ScopeMeter é cotidianamente utilizado em testes no Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV da UERJ. A figura 3.11 mostra um teste realizado no LSPV, ressaltando que além de ser um equipamento versátil, este instrumento pode ser empregado simultaneamente com outros instrumentos de medição e aquisição de dados.

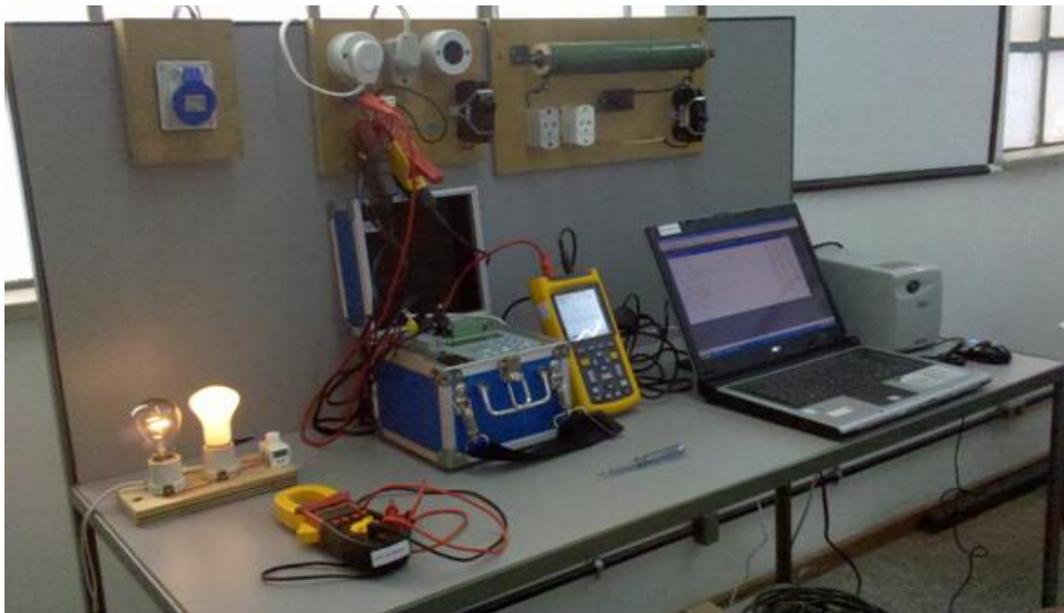


Figura 3.11. Teste realizado no LSPV com duas lâmpadas incandescente em série, controladas por dimmer para medição de tensão, corrente, potência e harmônicos na rede elétrica.
Figura: Acervo pessoal.

3.5 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Recarga

3.5.1 Osciloscópio Portátil

Conforme abordado na seção 3.4.2, o ScopeMeter também pode ser utilizado nos testes de recarga do banco de baterias da Kombi, entretanto, este instrumento não é um analisador de energia, ou seja, o mesmo não faz registros das energias despendidas no modo de tração ou no modo de recarga. Para tais registros, pode-se utilizar o analisador de energia descrito na seção 3.5.2.

No modo de recarga, conecta-se o ScopeMeter ao painel de recarga, apresentado na figura 3.4, através dos terminais disponíveis para conexão dos clamps que registram sinais de tensão e corrente. A figura 3.12 mostra o diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do ScopeMeter na rede de alimentação durante o teste de recarga.

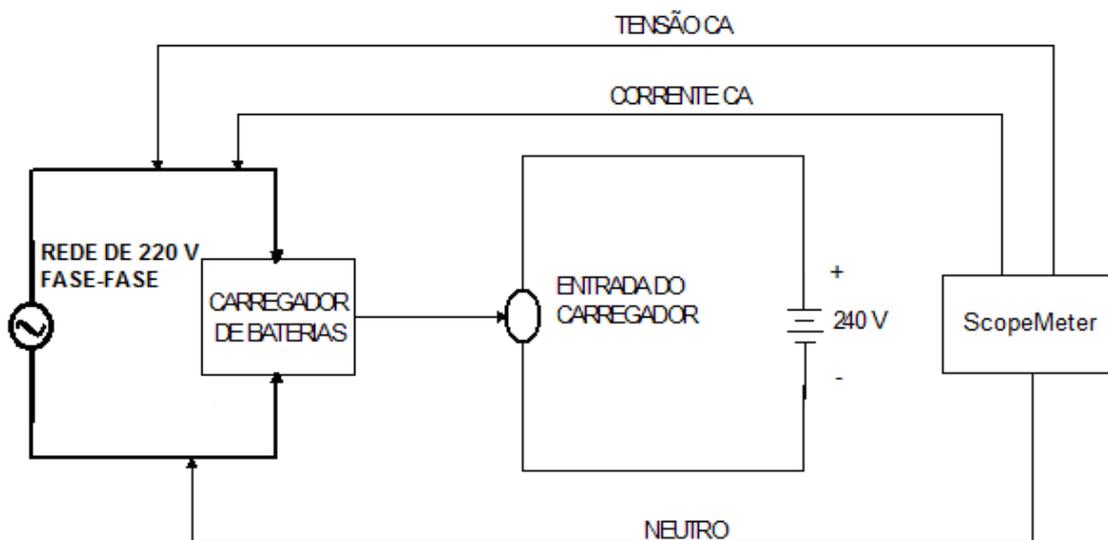


Figura 3.12. Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e ScopeMeter na rede de alimentação durante o teste de recarga.

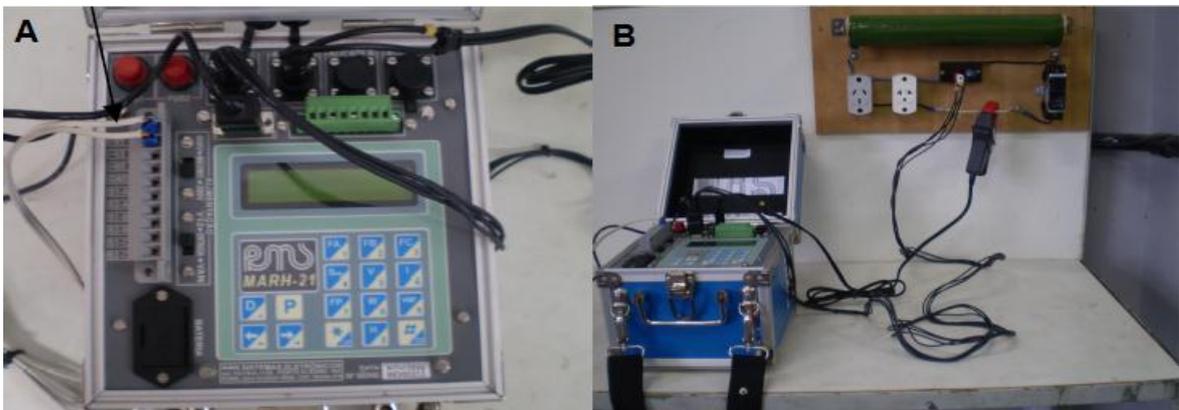
Figura: Elaboração própria.

3.5.2 Analisador de Energia

Nesta seção é apresentado o equipamento de análise de energia MARH 21, projetado pela empresa brasileira RMS Sistemas Eletrônicos, muito utilizado em registro de grandezas como tensões de Fase (Fase - Neutro), tensões de Linha (Fase - Fase), correntes, fatores de potência, potências ativas, potências reativas, potências aparentes, energia ativa total (consumida ou fornecida), energia reativa

capacitiva total, energia reativa indutiva total, distorção harmônica total de tensão, distorção harmônica de tensão (% por faixa de frequência), distorção harmônica total de corrente, distorção harmônica de corrente (% por faixa de frequência), entre outros parâmetros. Contudo, devido a pouca portabilidade e limitações físicas para análise de energia, tanto nos modos de tração e recarga, optou-se por não utilizá-lo nos testes descritos no capítulo 4 deste trabalho, mas, de posse das grandezas tensão e corrente, registradas pelo ScopeMeter, pode-se realizar a análise da energia gasta nos dois modos, de acordo com as equações 3.1 e 3.3.

As figuras 3.13A e 3.13B apresentam, respectivamente, o MARH 21 sendo utilizado em teste de análise de recarga monofásica no GRUVE.



Figuras 3.13. Vistas superior e frontal do MARH 21 sendo utilizado em teste de análise de recarga monofásica no LSPV.
Figura: Acervo pessoal.

A figura 3.14 mostra o diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do MARH 21 na rede de alimentação durante o teste de recarga.

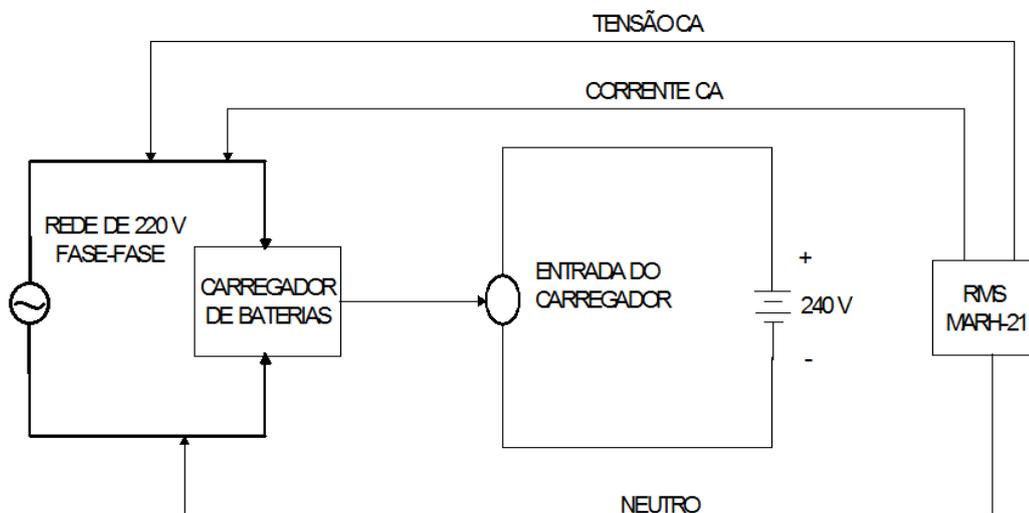


Figura 3.14. Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do MARH 21 na rede de alimentação durante o teste de recarga.
Figura: Elaboração própria.

3.5.3 Teste de Recarga Utilizando Scooter Elétrica

Devido a limitações técnicas para se coletar dados no teste de tração, de veículos elétricos de menor porte, esta seção descreverá apenas o teste de recarga de uma scooter elétrica de potência nominal 250 W da BJ Motors, modelo B, cujas especificações completas encontram-se no ANEXO A. Este teste visou o desenvolvimento de uma metodologia de análise e aquisição de dados de desempenho desse tipo de veículo, em especial a sua eficiência, conforme descrita na equação 3.4. A scooter possui motor de corrente contínua de ímã permanente, entretanto, há a tendência para utilização de motores de fluxo magnético axial com ímã permanente (motor síncrono - formato "pizza"). Os testes foram divididos em duas etapas: descarga e recarga da bateria da scooter. A importância do referido teste deve-se ao emprego deste tipo de veículo em prol da mobilidade sustentável em centros urbanos.

- **Descarga da Bateria**

Este teste foi realizado no estacionamento do Centro de Ciência e Tecnologia – CCT da Faculdade de Engenharia da UERJ, localizado no campus de São Cristóvão/RJ, para que a bateria da scooter, 100% carregada, pudesse descarregar e, posteriormente, ser efetuado o teste de recarga. Este procedimento consistiu na realização de um percurso de dez voltas ao redor do estacionamento do CCT, totalizando distância de 2,42 km com velocidade média de 11,5 km/h, durante um intervalo de, aproximadamente, 12 minutos. As figuras 3.15 e 3.16 mostram, respectivamente, fotos da scooter antes e durante o procedimento de descarga da bateria, pilotada pelo Ranther Ferreira, um dos estagiários do GRUVE.



Figura 3.15. Scooter posicionada antes do procedimento de descarga da bateria por um dos estagiários do GRUVE.

Figura: Acervo pessoal.



Figura 3.16. Scooter sendo utilizada durante o procedimento de descarga da bateria. Ao fundo um aluno da pós-graduação de mecânica da UERJ, Idris Jide, ao lado do Prof. Pecorelli
Figura: Acervo pessoal.

- **Recarga da Bateria**

Este teste foi realizado no Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV, localizado no CCT da UERJ, após o percurso, a fim de se registrar tensão corrente e energia fornecida pela rede elétrica durante a reposição da carga da bateria da scooter. Os equipamentos utilizados para medição e aquisição de dados foram o ScopeMeter e um protótipo de tomada inteligente, desenvolvida pela empresa Powersave, para registro de parâmetros, como tensão, corrente (com range de até 40 A), potência, energia e fator de potência, a cada intervalo de tempo especificado, da carga à ela conectada. Este equipamento foi cedido pela Ampla Energia e Serviços S.A ao LSPV, no âmbito do projeto “Desenvolvimento de Rede de Abastecimento de Veículos Elétricos para a Smart City Búzios”, que está sendo executado em parceria com o LSPV. A figura 3.17 mostra foto da tomada inteligente Powersave.



Figura 3.17. Tomada inteligente Powersave.
Foto disponível em: www.powersave.com.br

Após calibrar os equipamentos, a scooter foi submetida à recarga, conforme a figura 3.18, que mostra o diagrama esquemático de ligação da scooter à rede elétrica.

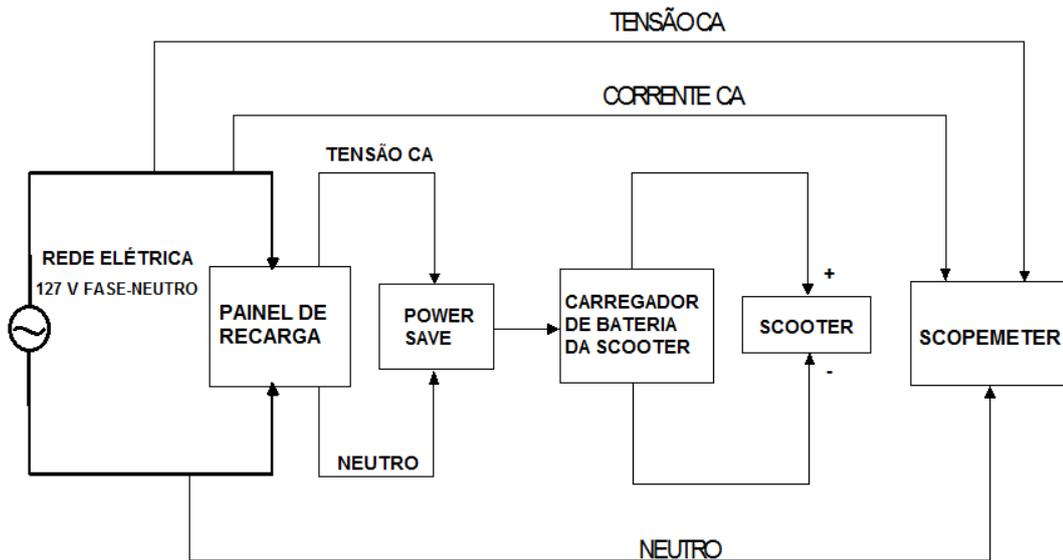


Figura 3.18. Diagrama esquemático de ligação da scooter à rede elétrica, durante o teste de recarga.
Figura: Elaboração própria.

A figura 3.19 mostra foto da scooter sendo submetida à recarga no LSPV, cujo carregador de bateria está conectado ao painel de recarga através da tomada Powersave. Nesta figura é possível observar os equipamentos de medição e aquisição de dados também conectados ao painel de recarga.



Figura 3.19. Bancada de testes do LSPV com scooter sendo submetida à recarga da bateria.
Foto: Acervo pessoal.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção apresenta os gráficos e análises dos resultados dos testes nos modos de tração, ou descarga, das baterias e da recarga, realizados com a Kombi, no dia 25/01/2013, bem como da recarga de uma scooter elétrica no dia 18/06/2013.

4.1 Modo de Tração

Devido a problemas técnicos, constatados após a realização das medições, os valores de corrente e potência aquisitados com o ScopeMeter, não estão confiáveis. Assim sendo, essas grandezas não serão consideradas nesta análise, embora estejam aparecendo nos gráficos desta seção. Essa situação foi sanada, para futuras medições, através da aquisição de um adaptador especial para entrada de corrente, pois as entradas de tensão e de corrente no Scopemeter devem ser independentes. O ponto comum (central) não deve ser utilizado na medição de duas grandezas, simultaneamente, pois curto-circuita o sinal de corrente.

A figura 4.1 mostra o gráfico da tensão gerado pelo software do ScopeMeter durante o teste em vazio, ou seja, com motor elétrico de tração ligado, porém estando a Kombi suspensa em elevador apropriado. A tabela de valores instantâneos registrados encontra-se no ANEXO B.

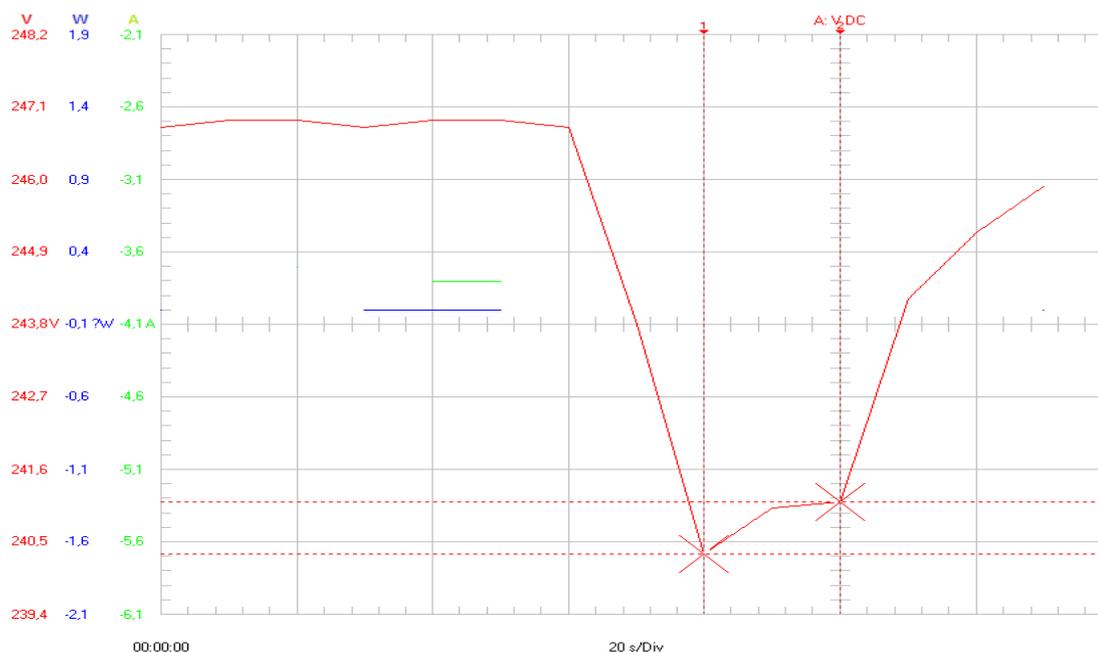


Figura 4.1. Gráfico da tensão do banco de baterias durante o teste de tração em vazio da Kombi, gerado pelo ScopeMeter.

Figura: Elaboração própria.

Neste teste, permaneceu ligado apenas o inversor e o motor síncrono de ímã permanente do veículo. Em outras palavras, foi observado apenas o comportamento do nível de tensão do banco de baterias tracionando-se apenas o rotor do motor elétrico e as rodas de tração. Pode-se observar que no intervalo entre 60 e 80 s o nível do sinal de tensão cai, praticamente, de 247 V para 240,5 V devido às variações do pedal de aceleração da Kombi que ocorreram a partir do instante de 60 segundos. Em veículos elétricos, quanto maior a aceleração, maior será o nível do sinal de corrente que o inversor enviará para o motor, e conseqüentemente, o nível do sinal de tensão nos terminais do inversor diminuirá.

A figura 4.2 mostra o gráfico de tensão gerado pelo software do ScopeMeter durante o teste de tração (modo de descarga das baterias) da Kombi, num período de 14 minutos. Sua respectiva tabela pode ser vista no ANEXO C. As variações observadas no trecho final decorrem de acelerações perante aclives do trajeto, com velocidade inferior à 40 km/h. Os pontos registrados de menor valor da tensão, particularmente, nos instantes de 8 e 11 minutos, provavelmente, ocorreram quando a Kombi passou pelos pontos de maior inclinação.

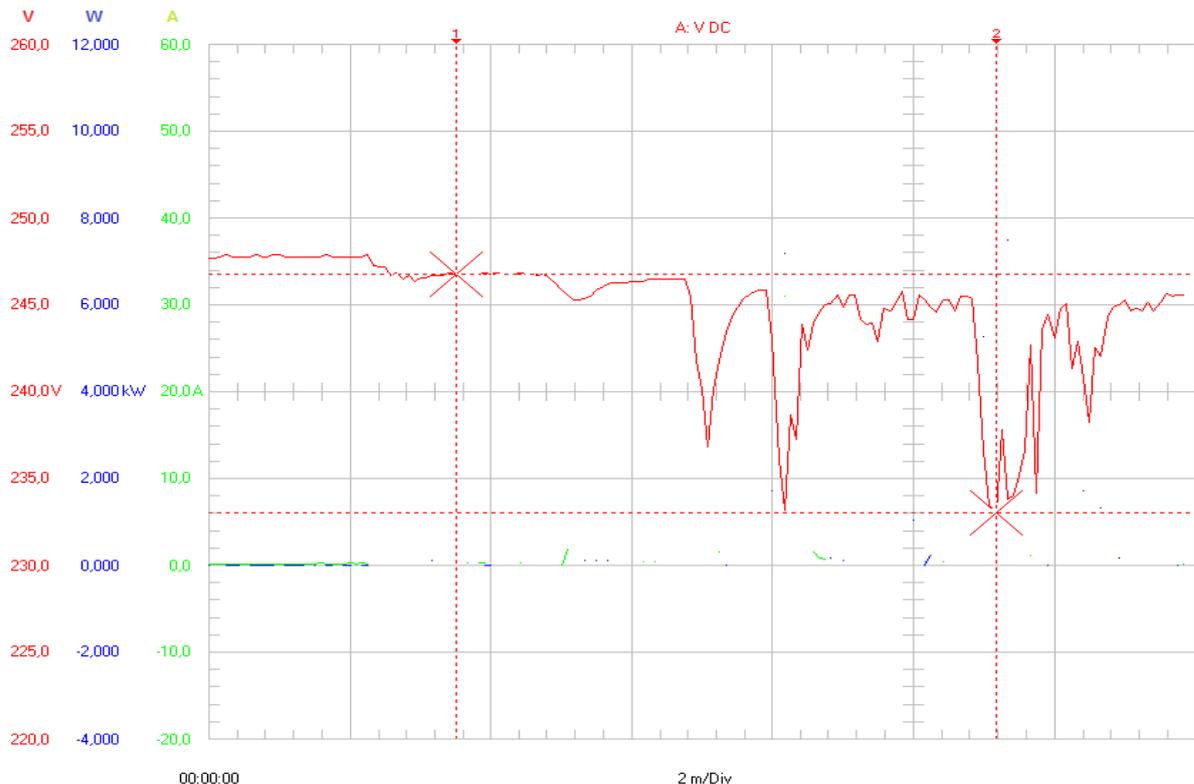


Figura 4.2. Gráfico de tensão do banco de baterias durante o teste de tração da Kombi, gerado pelo ScopeMeter.
(Figura: Elaboração própria).

4.2 Modo de Recarga

A figura 4.3 mostra os gráficos de tensão, corrente e potência gerados pelo software do ScopeMeter durante o teste de recarga, através da rede elétrica, do banco de baterias da Kombi, durante um período de 12 minutos. Sua respectiva tabela pode ser vista no ANEXO D. Pode-se observar que à medida que o banco de baterias repõe a carga despendida no modo de tração, ou seja, quanto mais próximo de 100% da carga nominal, mais o gráfico de corrente e, conseqüentemente, o de potência decresce até um valor praticamente constante. As variações observadas na tensão de alimentação são de aproximadamente $\pm 0,5$ Volts.

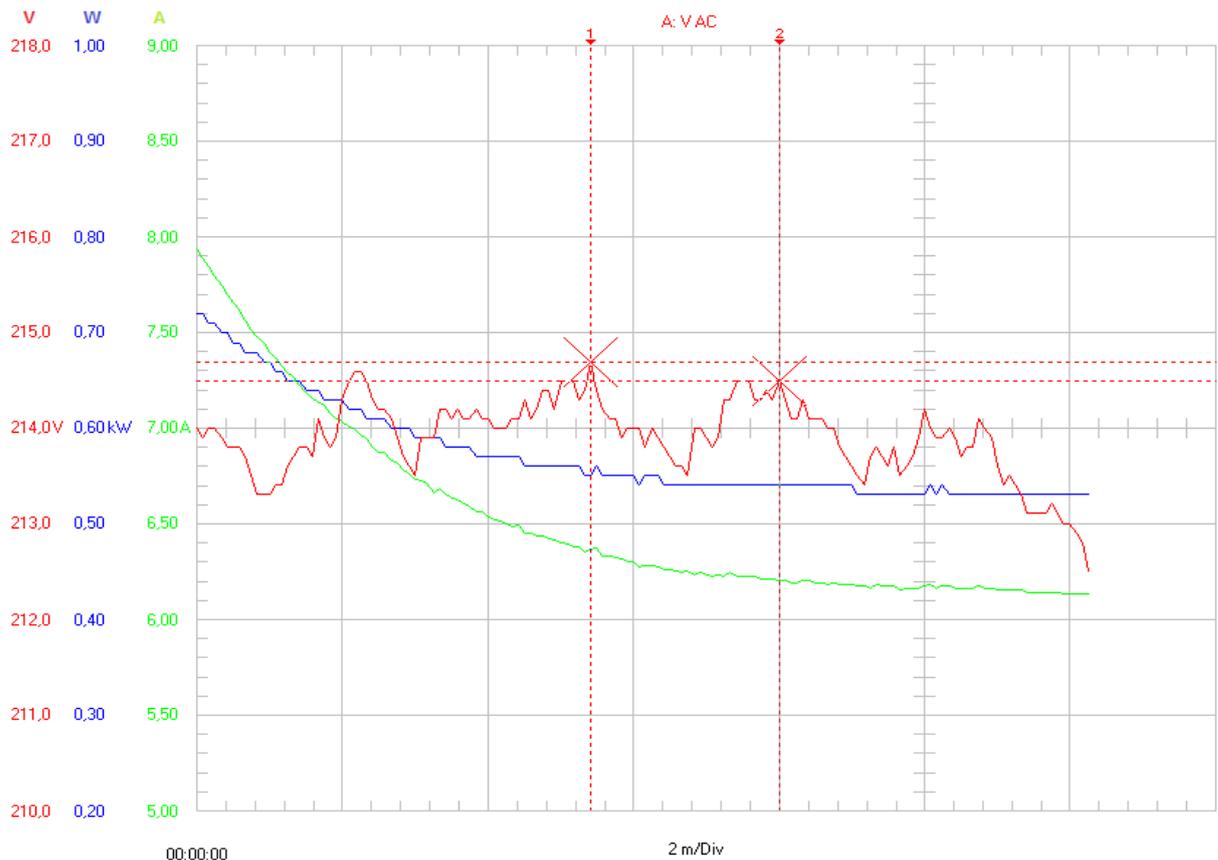


Figura 4.3. gráficos de tensão, corrente e potência durante o teste de recarga do banco de baterias da Kombi, gerados pelo ScopeMeter.

Figura: Elaboração própria.

Em decorrência da adaptação realizada para recarga das baterias através de transformador 220/380 V acoplado num inversor monofásico 380 V (AC), destinado ao controle da velocidade de motores CC, provavelmente, fez com que o fator de

potência verificado fosse baixo, conforme mostra os cálculos realizados com amostra dos sinais de tensão, corrente e potência no instante 00:02:48, a seguir:

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$600 = 214 \times 6,8 \times \cos \phi$$

$$\cos \phi = \frac{600}{214 \times 6,8} = 0,41$$

A figura 4.4 mostra os gráficos de frequência, k-factor e distorção harmônica total da corrente – THDi plotados pelo software do ScopeMeter. Sua respectiva tabela pode ser vista no ANEXO E. Observa-se que os níveis de harmônicos em valores percentuais, aumentam conforme a corrente de recarga entra no seu estado de flutuação, principalmente em função da diminuição da componente fundamental. O K-factor é um parâmetro auxiliar de desclassificação definido para transformadores. Indica quanto se deve reduzir a potência máxima de saída quando por ele circular correntes contendo harmônicos, para evitar superaquecimento. Como o k-factor é proporcional ao aumento da distorção harmônica, o mesmo acompanhará o crescimento da THDi.

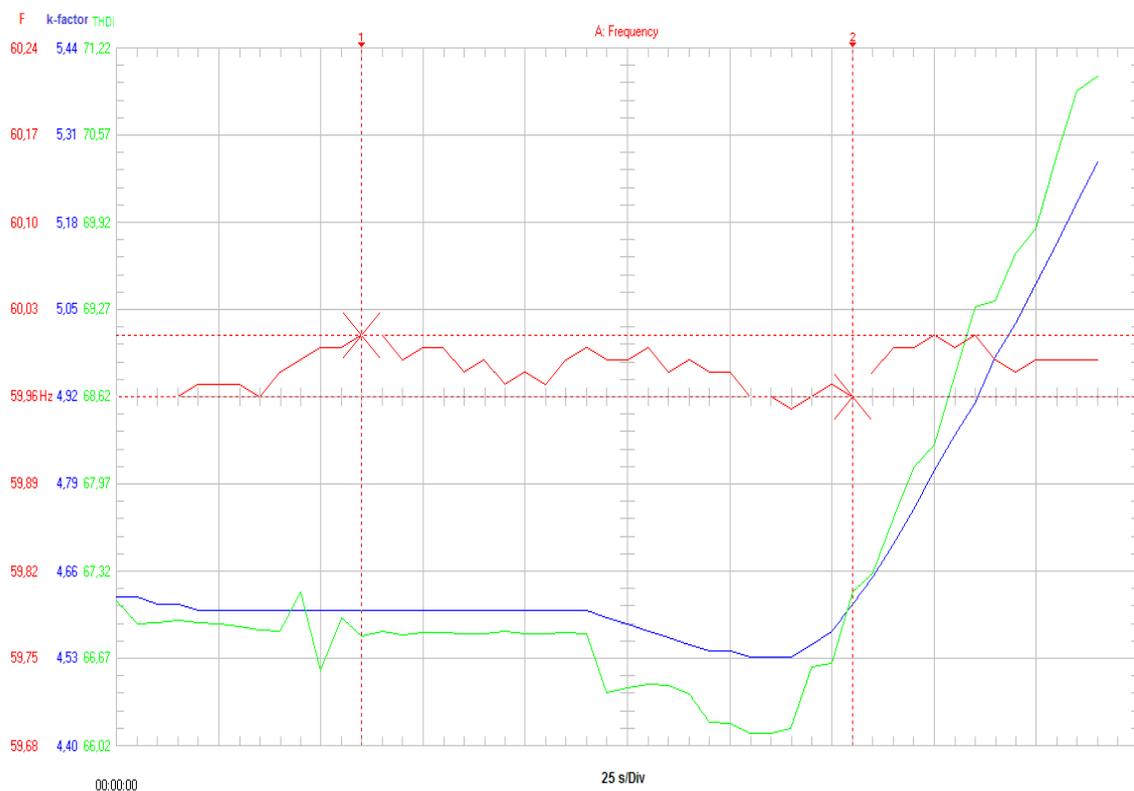


Figura 4.4. gráficos de frequência, k-factor e distorção harmônica total da corrente – THDi plotados pelo ScopeMeter, durante o teste de recarga do banco de baterias da Kombi
Figura: Elaboração própria.

4.3 Teste de Recarga com Scooter Elétrica

O tempo total da recarga foi três horas e quinze minutos. Como consequência o gráfico gerado pelo software do ScopeMeter tornou-se muito extenso para ser apresentado. Contudo, para fins descritivos da metodologia, são apresentadas nas figuras 4.5 e 4.6, respectivamente, as amostras dos gráficos de frequência, tensão, corrente e potência nos primeiros quarenta minutos e nos últimos quarenta minutos do teste de recarga, visto que as maiores alterações nos sinais de tensão e corrente ocorreram nos minutos finais. Suas respectivas tabelas de valores instantâneos podem ser visualizadas nos anexos F e G.

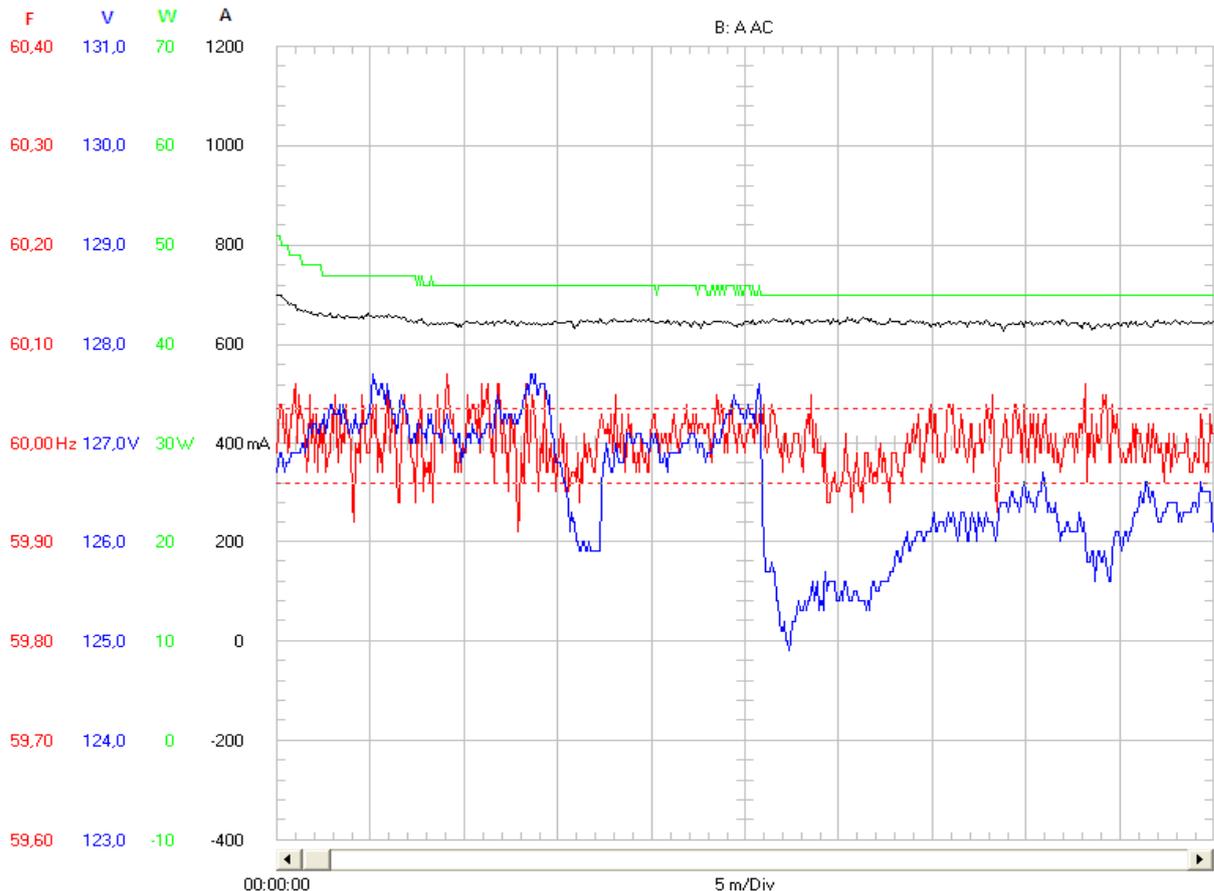


Figura 4.5. Amostra dos gráficos de frequência, tensão, corrente e potência gerados pelo software do ScopeMeter nos primeiros quarenta minutos do teste de recarga da scooter.

Figura: Elaboração própria.

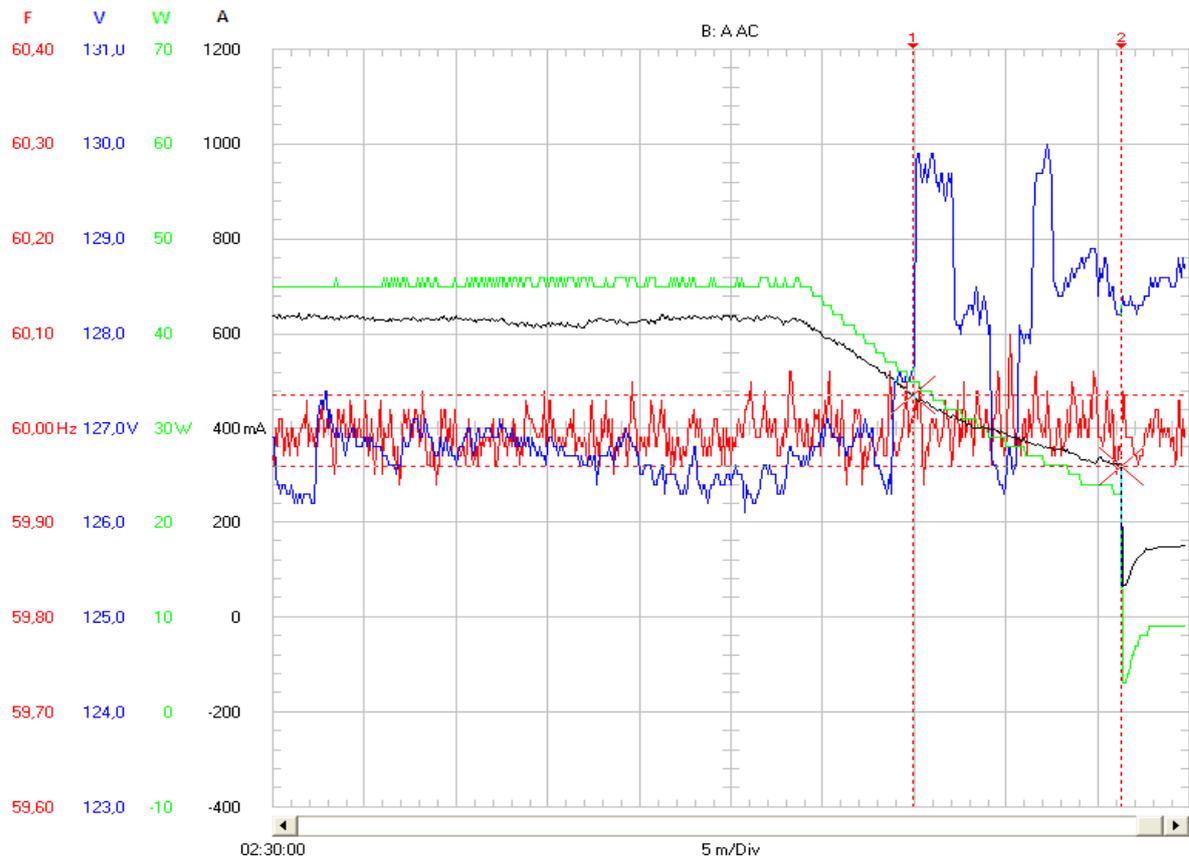


Figura 4.6. Amostra dos gráficos de frequência, tensão, corrente e potência gerados pelo software do ScopeMeter nos últimos quarenta minutos do teste de recarga da scooter.
Figura: Elaboração própria.

Na figura 4.5, pode-se observar que os níveis dos sinais de tensão e corrente permaneceram dentro de uma faixa de valores (entre 126 e 128 V e 640 mA). Estes sinais permaneceram dentro desses intervalos, salvo perturbações na rede que alteraram em alguns instantes o nível de tensão, durante quase todo tempo de recarga, sofrendo alterações nos últimos vinte minutos, conforme mostra os gráficos da figura 4.6. Na medida em que a bateria repõe a carga despendida no modo de tração, a corrente de recarga diminui até chegar a valores muito baixos, entrando no estado de flutuação. Cabe mencionar que o gráfico de tensão atingiu valor máximo de 130 V, provavelmente, devido a perturbações externas na rede durante o teste.

4.3.1 Aquisição de Dados com Tomada Inteligente Powersave

As figuras 4.7 e 4.8 mostram, respectivamente, os gráficos de valores instantâneos, fornecidos pelo software da tomada inteligente Powersave, da energia de reposição da bateria da scooter nos primeiros quarenta minutos e nos últimos

quarenta minutos do teste de recarga. Suas respectivas tabelas de valores instantâneos podem ser visualizadas nos anexos H e I.

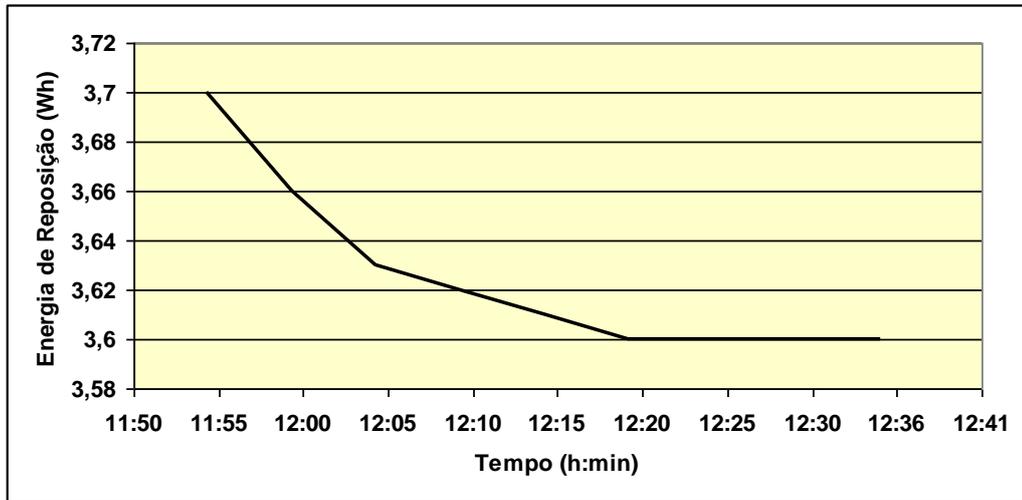


Figura 4.7. Gráfico dos valores instantâneos fornecidos pela tomada Powersave, da energia de reposição da bateria em função do tempo nos primeiros quarenta minutos de recarga.

Figura: Elaboração própria.

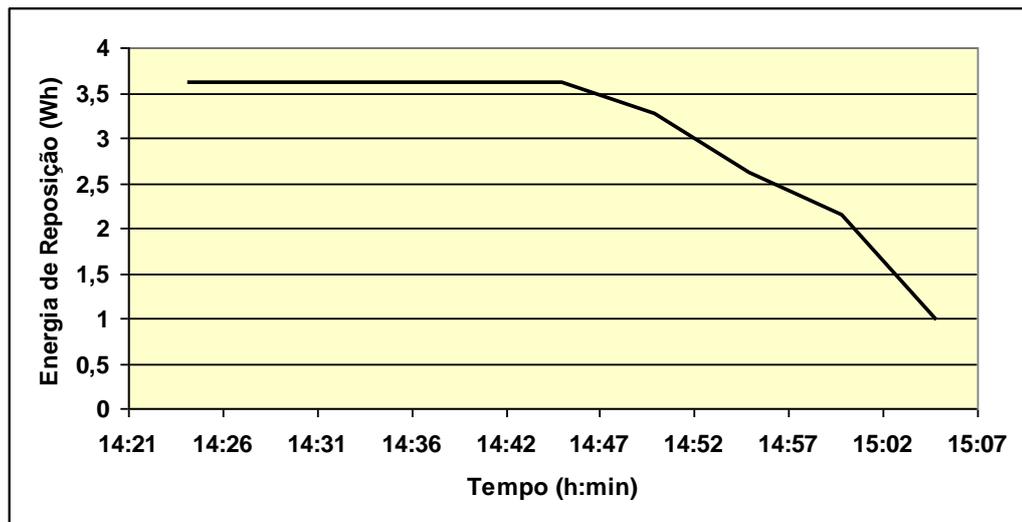


Figura 4.8. Gráfico dos valores instantâneos fornecidos pelo tomada Powersave, da energia de Reposição da bateria em função do tempo nos últimos quarenta minutos de recarga.

Figura: Elaboração própria.

No gráfico da figura 4.7, a energia de reposição começa em 3,7 Wh. Na medida que o carregador repõe a energia gasta na tração, a energia solicitada à rede começa a decrescer até chegar a valores muito pequenos (0,98 Wh), conforme visto na figura 4.8. Neste momento a bateria, já carregada, entra no estado de flutuação, ou seja, solicitando da rede uma energia ínfima para manter seu nível nominal de tensão.

4.3.2 Discussão dos Valores das Medições entre ScopeMeter e Powersave

De posse dos valores da tensão e corrente medidos pelo ScopeMeter nos primeiros quarenta minutos e nos últimos quarenta minutos do teste de recarga (ANEXOS F e G, respectivamente), a cada intervalo de cinco minutos, bem como dos valores da energia de reposição medida pela Powersave (ANEXOS H e I), nas mesmas condições, pode-se calcular o valor médio do fator de potência no intervalo de tempo de 5 minutos ou 0,083 horas, conforme a equação (4.1). Este cálculo será utilizado para comparar com os valores do fator de potência medidos pela tomada inteligente Powersave.

$$\overline{\cos \phi} = \frac{E_{PS}}{\overline{V}_{SM} \times \overline{I}_{SM}} \quad (4.1)$$

Sendo:

$\overline{\cos \phi}$ = Valor médio do fator de potência no intervalo de tempo de 5 minutos ou 0,083 horas.

E_{PS} = Energia de reposição medida pela tomada Powersave no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas.

\overline{V}_{SM} = Valor médio da tensão medida pelo ScopeMeter no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas.

\overline{I}_{SM} = Valor médio da corrente medida pelo ScopeMeter no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas.

O valor da E_{PS} medida pela Powersave, é expressa pela equação (4.2):

$$E_{PS} \rightarrow \left(\overline{V} \times \overline{I} \times \overline{\cos \phi} \right)_{PS} \quad (4.2)$$

Sendo:

\overline{V} = Valor médio da tensão medida pelo Powersave no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas.

\overline{I} = Valor médio da corrente medida pelo Powersave no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas.

O valor médio da potência aparente, pode ser obtido a partir dos valores médios da tensão e corrente do ScopeMeter no intervalo de 5 minutos ou 0,083 horas. Portanto:

$$\bar{N}_{SM} = \bar{V}_{SM} \times \bar{I}_{SM} \quad (4.3)$$

Com base nas equações (4.2) e (4.3), a equação (4.1) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\overline{\cos \phi} = \frac{\overbrace{(\bar{V} \times \bar{I} \times \overline{\cos \phi})}_{MEDIDA}}{\bar{V}_{SM} \times \bar{I}_{SM}} \quad (4.4)$$

A tabela 4.1 Mostra a aplicação da equação (4.4) para cálculo do valor médio do F.P a cada intervalo de tempo, durante o teste de recarga da scooter.

Tabela 4.1. Cálculo do valor médio do F.P a cada intervalo de tempo, durante o teste de recarga da scooter.
Fonte: Elaboração própria

Tempo (Hora)	$E_{PS} (Wh)$	$\bar{V}_{SM} (V)$	$\bar{I}_{SM} (A)$	$\bar{N}_{SM} (VAh)$	$\overline{\cos \phi}$
11:55:00	3,70	126,9	0,70	7,37	0,50
12:00:00	3,66	126,9	0,70	7,37	0,50
12:05:00	3,63	126,8	0,70	7,36	0,49
12:10:00	3,62	126,7	0,69	7,25	0,49
12:15:00	3,61	126,8	0,69	7,26	0,50
12:20:00	3,60	126,8	0,69	7,26	0,50
12:25:00	3,60	126,8	0,68	7,15	0,50
12:30:00	3,60	126,9	0,68	7,16	0,50
12:35:00	3,60	126,9	0,68	7,16	0,50
14:25:00	3,61	126,7	0,63	6,62	0,54
14:30:00	3,62	126,9	0,62	6,53	0,55
14:35:00	3,62	126,8	0,63	6,63	0,54
14:40:00	3,62	126,4	0,64	6,71	0,54
14:45:00	3,61	126,6	0,62	6,51	0,55
14:50:00	3,27	127,5	0,50	5,30	0,60
14:55:00	2,62	128,2	0,40	4,25	0,60
15:00:00	2,14	128,7	0,34	3,63	0,59
15:05:00	0,98	128,5	0,15	1,60	0,60

A comparação dos resultados é realizada a partir do valor médio do fator de potência calculado, com o valor médio do fator de potência medido pela Powersave, conforme mostra a tabela 4.2:

Tabela 4.2. Comparação dos resultados a partir do valor médio do F.P calculado, com o valor médio do F.P medido pela tomada Powersave.

Fonte: Elaboração própria.

Tempo (Hora)	$\overline{\cos \phi}$	$\overline{\cos \phi_{PS}}$	$ \overline{\cos \phi_{PS}} - \overline{\cos \phi} $	$ \epsilon (\%) $
11:55:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:00:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:05:00	0,49	0,58	0,09	15,5
12:10:00	0,49	0,58	0,09	15,5
12:15:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:20:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:25:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:30:00	0,50	0,58	0,08	13,7
12:35:00	0,50	0,58	0,08	13,7
14:25:00	0,54	0,58	0,04	6,9
14:30:00	0,55	0,59	0,04	6,8
14:35:00	0,54	0,59	0,05	8,4
14:40:00	0,54	0,59	0,05	8,4
14:45:00	0,55	0,58	0,03	5,2
14:50:00	0,60	0,59	0,01	1,7
14:55:00	0,60	0,59	0,01	1,7
15:00:00	0,59	0,58	0,01	1,7
15:05:00	0,60	0,43	0,17	39,5

Pode-se, desta maneira, inferir sobre a coerência das medidas da tensão e corrente observando-se os resultados obtidos com a equação (4.4). Além disso, os cálculos realizados pressupõe que os intervalos de tempo de medição do Powersave e do ScopeMeter são idênticos.

5. CONCLUSÕES

Devido aos obstáculos encontrados para a realização dos ensaios em lugar apropriado, por conta da burocracia imposta pelos órgãos públicos a veículos considerados artesanais, não foi possível a realização de ensaios mais completos com a Kombi para o modo de tração. Contudo, o resultado dos testes realizados deixa clara a viabilidade de se estimar a eficiência, rendimento e outros parâmetros importantes para análise de desempenho dos veículos elétricos, conforme descrito no capítulo 3.

A metodologia apresentada se mostra útil à integração dos VEs às redes inteligentes de energia, uma vez que as amostras de desempenho dos VEs obtidos a partir das suas curvas de recarga constituem um dado imprescindível para se estabelecer os modelos de previsão de demanda de energia e consumo dos sistemas elétricos, bem como da comunicação e automação de tal forma que seja otimizada a eficiência energética do sistema.

De acordo com os resultados obtidos com o medidor inteligente Powersave, pode-se observar que este se mostra bastante viável em relação ao monitoramento do consumo de energia em tempo real de veículos elétricos, mostrando-se adequado para a sua integração aos painéis de recarga de bicicletas, scooters, motocicletas e carros elétricos do projeto “*Desenvolvimento de Rede de Abastecimento de Veículos Elétricos para a Smart City Búzios*” da Ampla Energia e Serviços S.A. Estes painéis oferecem toda segurança aos usuários, cujas instalações atendem totalmente os requisitos da norma da ABNT NR 5410.

É urgente a introdução de políticas públicas para a redução da carga tributária imposta aos VEs, pois é consideravelmente superior quando comparados aos impostos a que estão sujeitos os veículos à combustão interna, em prol da eficiência energética e da preservação do meio ambiente.

Recomenda-se, para futuros testes com a Kombi, que seja alugada uma pista com espaço suficiente para a realização de novos ensaios, a fim de coletar dados necessários para cálculo das grandezas descritas neste trabalho.

Uma vez que a metodologia se mostrou adequada, recomenda-se, também, testes de desempenho com outros veículos comercialmente utilizados, para comparação da eficiência.

REFERÊNCIAS

BOTTURA, Celso P.; BARRETO, Gilmar. ***Veículos Elétricos***. Campinas: Unicamp, 1989, ISBN 85-268-0132-S.

CABRAL, Nuno Ricardo; CARVALHO, Susana Isabel. ***Planejamento e produção de eletricidade. Veículo Elétrico e Energias Renováveis***. Universidade de Coimbra, 2009.

COSTA PINTO, Paulo Mozart. ***Análise das Emissões Veiculares em Regiões Urbanas e Metodologia para Quantificação de Poluentes***. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do curso de Mestrado Acadêmico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2005.

CROMPTON, T. R. ***Battery Reference Book***. 3. ed. Inglaterra: Newnes, 2000.

DA COSTA, Washington. ***Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão***. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do curso de Mestrado Acadêmico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2009.

DA SILVA, Erick; ROCHA, Leonardo; KREMPSE, André. ***A Disseminação de Conhecimentos sobre Veículos Elétricos Através do Registro de Imagens e Vídeos das Pesquisas Realizadas***. Pôster apresentado na XXII UERJ Sem Muros 2001 – 22^o Amostra de Extensão, 2011.

FIELDMANN, Paulo R. ***Entrevista concedida à Revista CESVI, publicada pela ABVE***. Disponível em: <http://www.abve.org.br/destaques/2013/destaque13007.asp> Acesso em 5 de Abril de 2013.

Foto apresentada no site: ***Veículos Elétricos - Os Carros Verdes - Emissão "Zero" de Carbono - Tecnologias e Empreendimentos***. Disponível em:

<http://automoveiseletricos.blogspot.com.br/2012/07/os-inversores-de-frequenciados.html>. Acesso em 5 de Abril de 2013.

Foto disponível no site da empresa Powersave: www.powersave.com.br

FRANCHI, Claiton M. ***Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações***. 2º edição. São Paulo: Érica, 2011.

FREITAS, Cleiton M. ***Projeto de Conversores Eletrônicos para Recarga de Baterias Secundárias***. Projeto Final de Graduação. Programa de Graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2012. Gráfico apresentado em: ***Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE***. Disponível em: <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0040>. Acesso em 16 de Julho de 2013.

Gráfico apresentado em: ***Electric Vehicle News***. Disponível em: <http://www.electric-vehiclenews.com/2013/07/new-all-solid-sulfur-based-battery.html>
Acesso em 22 de Julho de 2013.

JANTHARAMIN, N.; ZHANG, L. ***A New Dynamic Model for Lead-Acid Batteries***. The 4th IET Conference on Power, Electronics, Machines and Drives, Reino Unido, p. 86 – 90, 2008.

KIEHNE, H. A. ***Battery Technology Hand Book***. 2. ed. Nova York: Marcel Dekker, 2003.

KREMPSEER, André; FREITAS, Cleiton; DA SILVA, Erick. ***Implantação de Sistema de Aquisição de Dados de Desempenho de Veículos Elétricos***. Pôster apresentado na XXII UERJ Sem Muros 2011 – 11º Semana de Graduação, 2011.

KREMPSEER, André, FERREIRA, Alan. ***Infra-Estrutura para a Medição e Aquisição de Dados de Desempenho de Veículos Elétricos***. Pôster apresentado na XXIII UERJ Sem Muros 2012 – 12º Semana de Graduação, 2012.

LARMINIE, James; LOWRY, John. ***Designing An Electric Vehicle Conversion***. Inglaterra, John Wiley & Sons Ltd.: 2003.

NOGUEIRA MACHADO, Felipe; et al. ***Plataforma de Desenvolvimento de Tecnologia Veicular através da Conversão da Kombi para Tração Elétrica***. Pôster apresentado na XXI UERJ Sem Muros 2010 – 10º Semana de Graduação.

PECORELLI PERES, Luiz A.; et al. ***Análise e Estudos da Conversão de uma Kombi para Tração Elétrica***. Projeto Conjunto da UERJ e CEFET – 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos A Bateria, Híbridos e de Célula Combustível. Centro Cultural Light – Rio de Janeiro – RJ, 2007.

PECORELLI PERES, Luiz A.; SILVA TRAJANO, Thayse. ***Avaliação do estado de Carga de Baterias Utilizando um Modelo Híbrido das Equações de Peukert e Shepherd***. X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2004.

PECORELLI PERES, Luiz A.; et al. ***Discussão e estimativa das emissões indiretas provocadas pelos veículos a gasolina na bacia aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro***. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000a.

PECORELLI PERES, Luiz A.; et al. ***Influências sobre os sistemas de energia com a Introdução dos veículos elétricos na sociedade***. III Congresso Latino-Americano de Geração-Transmissão de Energia elétrica, Campos do Jordão, 1997.

PECORELLI PERES. Luiz A.; et al. ***Test Procedures and Measurements of Recharge Evaluation of Battery Electric Vehicles in Power Concessionaires in Brazil*** in: EVs 24 the 24 th International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium et Exhibition, 2009, Stavanger.

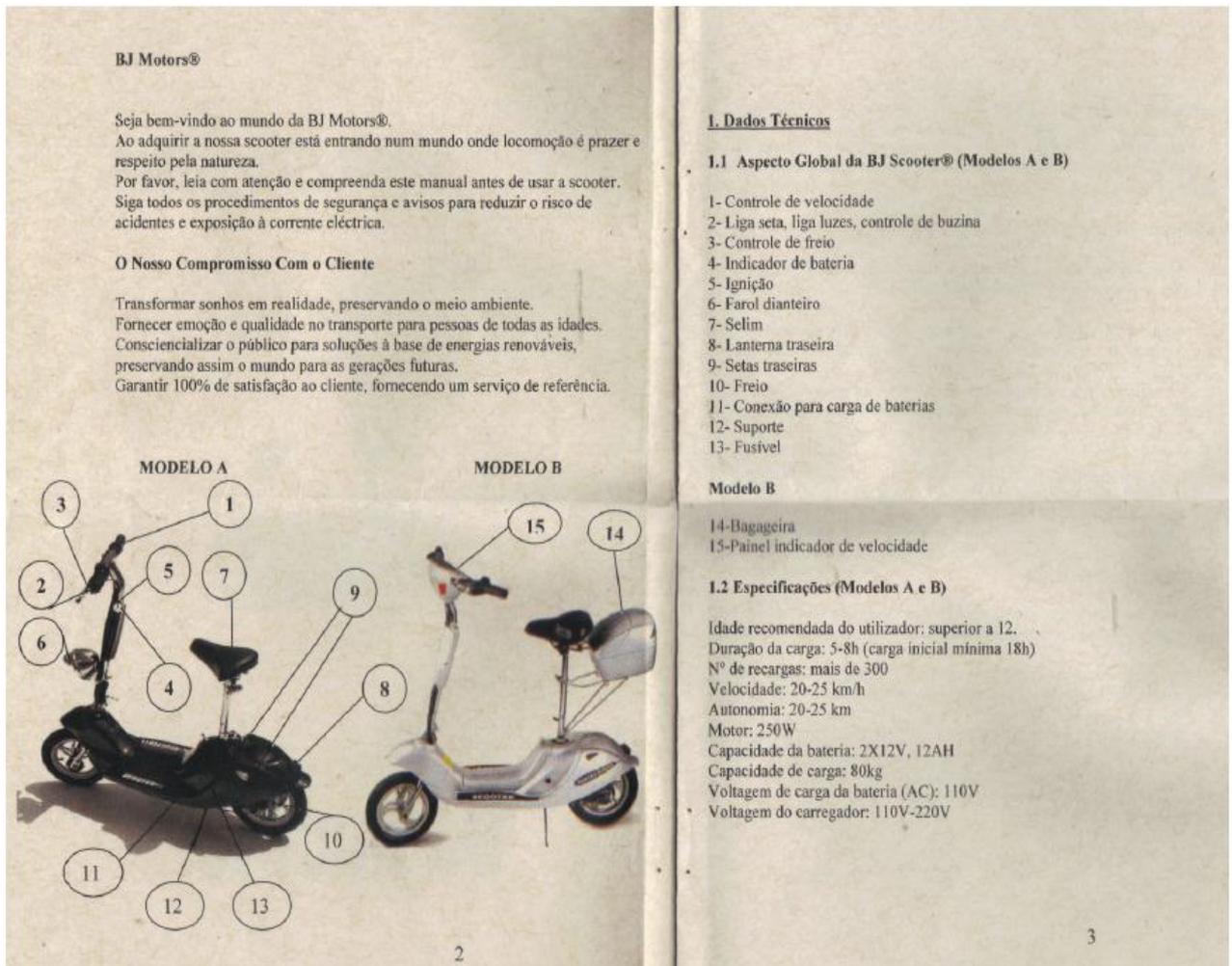
PITAGORA SA. ***On-board Data Acquisition System for Electric Vehicles – Instalations Manual***. Via delle Aie 5, Lugano.

ROCHA, Leonardo, KREMPSE, André. ***Argumentos técnicos para a Alteração***

da Carga Tributária Incidente sobre Veículos Elétricos no Brasil de Forma a Promover o seu Desenvolvimento e Comercialização. Pôster apresentado na XXII UERJ Sem Muros 2011 – 11º Semana de Graduação, 2011.

Saturnia Sistema de Energia Ltda. **Manual de operação SATURNIA STH: Baterias Estacionárias Chumbo – Ácidas Reguladas por Válvula.** São Paulo: maio/2006.

ANEXO A – Manual da Scooter Elétrica da BJ Motors, Modelo B.



ANEXO B – Valores da tensão do teste em vazio.

Tempo (s)	Tensão (V)
0	246,80
10	246,90
20	246,90
30	246,80
40	246,90
50	246,90
60	246,80
70	243,80
80	240,30
90	241,00
100	241,10
110	244,20
120	245,20
130	245,90

ANEXO C – Valores da tensão do teste de tração.

Tempo (s)	Tensão (V)
0	247,70
5	247,70
10	247,80
15	247,90
20	247,80
25	247,80
30	247,80
35	247,80
40	247,90
45	247,80
50	247,80
55	247,90
60	247,90
65	247,80
70	247,80
75	247,80
80	247,80
85	247,80
90	247,80
95	247,80
100	247,90
105	247,80
110	247,80
115	247,80
120	247,80
125	247,80
130	247,80
135	247,90
140	247,30
145	247,20
150	247,20
155	246,70
160	246,90
165	246,50
170	246,70
175	246,40
180	246,60
185	246,60
190	246,70
195	246,70
200	246,70
205	246,90
210	246,80
215	246,80
220	246,80
225	246,80
230	246,80
235	246,90

240	246,80
245	246,90
250	246,80
255	246,80
260	246,80
265	246,90
270	246,80
275	246,80
280	246,70
285	246,80
290	246,60
295	246,30
300	245,90
305	245,60
310	245,30
315	245,30
320	245,40
325	245,50
330	245,90
335	246,00
340	246,20
345	246,30
350	246,30
355	246,30
360	246,40
365	246,40
370	246,40
375	246,50
380	246,50
385	246,50
390	246,50
395	246,50
400	246,50
405	246,50
410	245,50
415	241,80
420	240,20
425	236,80
430	240,20
435	241,80
440	243,50
445	244,30
450	244,90
455	245,40
460	245,60
465	245,80
470	245,90
475	245,90
480	243,00
485	236,10
490	233,10
495	238,60

500	237,20
505	243,90
510	242,40
515	244,00
520	244,60
525	245,00
530	245,10
535	245,60
540	244,90
545	245,60
550	245,60
555	244,20
560	243,90
565	244,00
570	242,90
575	244,80
580	244,70
585	245,20
590	245,80
595	244,20
600	244,20
605	245,60
610	245,30
615	244,90
620	244,60
625	245,30
630	245,30
635	244,70
640	245,50
645	245,50
650	245,40
655	241,70
660	236,60
665	233,40
670	233,00
675	237,80
680	233,80
685	234,00
690	235,20
695	236,60
700	242,70
705	234,10
710	243,60
715	244,50
720	243,10
725	244,80
730	245,10
735	241,40
740	242,90
745	240,80
750	238,20
755	242,60

760	242,10
765	244,30
770	244,90
775	245,00
780	245,30
785	244,70
790	244,80
795	244,70
800	245,20
805	244,70
810	245,20
815	245,70
820	245,50
825	245,60
830	245,60

ANEXO D – Valores da tensão, corrente e potência do teste de recarga.

Tempo (s)	Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)
0	214,00	720,00	7,94
5	213,90	720,00	7,89
10	214,00	710,00	7,85
15	214,00	710,00	7,80
20	213,90	700,00	7,75
25	213,80	700,00	7,70
30	213,80	690,00	7,66
35	213,80	690,00	7,62
40	213,70	680,00	7,57
45	213,50	680,00	7,52
50	213,30	680,00	7,48
55	213,30	670,00	7,45
60	213,30	670,00	7,40
65	213,40	660,00	7,37
70	213,40	660,00	7,33
75	213,60	650,00	7,29
80	213,70	650,00	7,27
85	213,80	650,00	7,23
90	213,80	640,00	7,19
95	213,70	640,00	7,16
100	214,10	640,00	7,14
105	213,90	630,00	7,12
110	213,80	630,00	7,08
115	213,90	630,00	7,05
120	214,30	630,00	7,04
125	214,50	620,00	7,01
130	214,60	620,00	6,99
135	214,60	620,00	6,96
140	214,50	610,00	6,94
145	214,30	610,00	6,90
150	214,20	610,00	6,87
155	214,20	610,00	6,87
160	214,10	600,00	6,83
165	213,90	600,00	6,81
170	213,70	600,00	6,78
175	213,60	600,00	6,76
180	213,50	590,00	6,73
185	213,90	590,00	6,72
190	213,90	590,00	6,71
195	213,90	590,00	6,66
200	214,20	590,00	6,68
205	214,20	580,00	6,65
210	214,10	580,00	6,63
215	214,20	580,00	6,62
220	214,10	580,00	6,60
225	214,10	580,00	6,59
230	214,20	570,00	6,56
235	214,10	570,00	6,56

240	214,10	570,00	6,53
245	214,00	570,00	6,52
250	214,00	570,00	6,51
255	214,00	570,00	6,50
260	214,10	570,00	6,48
265	214,10	570,00	6,49
270	214,30	560,00	6,45
275	214,10	560,00	6,45
280	214,20	560,00	6,43
285	214,40	560,00	6,43
290	214,40	560,00	6,42
295	214,20	560,00	6,41
300	214,50	560,00	6,40
305	214,50	560,00	6,39
310	214,50	560,00	6,38
315	214,30	560,00	6,38
320	214,40	550,00	6,35
325	214,70	550,00	6,36
330	214,40	560,00	6,37
335	214,20	550,00	6,33
340	214,10	550,00	6,33
345	214,10	550,00	6,32
350	213,90	550,00	6,31
355	214,00	550,00	6,30
360	214,00	550,00	6,30
365	214,00	540,00	6,27
370	213,80	550,00	6,28
375	214,00	550,00	6,28
380	213,90	550,00	6,27
385	213,80	540,00	6,26
390	213,70	540,00	6,26
395	213,60	540,00	6,25
400	213,60	540,00	6,24
405	213,50	540,00	6,25
410	214,00	540,00	6,23
415	214,00	540,00	6,24
420	213,90	540,00	6,23
425	213,80	540,00	6,22
430	213,90	540,00	6,23
435	214,30	540,00	6,22
440	214,30	540,00	6,24
445	214,50	540,00	6,22
450	214,50	540,00	6,22
455	214,50	540,00	6,22
460	214,30	540,00	6,22
465	214,30	540,00	6,21
470	214,40	540,00	6,21
475	214,30	540,00	6,21
480	214,50	540,00	6,20
485	214,30	540,00	6,20
490	214,10	540,00	6,19
495	214,10	540,00	6,19

500	214,30	540,00	6,20
505	214,10	540,00	6,20
510	214,10	540,00	6,19
515	214,10	540,00	6,19
520	214,00	540,00	6,18
525	214,00	540,00	6,19
530	213,80	540,00	6,18
535	213,70	540,00	6,18
540	213,60	540,00	6,18
545	213,50	530,00	6,17
550	213,40	530,00	6,17
555	213,70	530,00	6,16
560	213,80	530,00	6,18
565	213,70	530,00	6,17
570	213,60	530,00	6,17
575	213,80	530,00	6,17
580	213,50	530,00	6,15
585	213,60	530,00	6,16
590	213,70	530,00	6,16
595	213,90	530,00	6,16
600	214,20	530,00	6,17
605	214,00	540,00	6,18
610	213,90	530,00	6,16
615	213,90	540,00	6,17
620	214,00	530,00	6,17
625	213,90	530,00	6,16
630	213,70	530,00	6,16
635	213,80	530,00	6,16
640	213,80	530,00	6,16
645	214,10	530,00	6,17
650	214,00	530,00	6,16
655	213,90	530,00	6,16
660	213,60	530,00	6,15
665	213,40	530,00	6,15
670	213,50	530,00	6,15
675	213,40	530,00	6,15
680	213,30	530,00	6,15
685	213,10	530,00	6,14
690	213,10	530,00	6,14
695	213,10	530,00	6,14
700	213,10	530,00	6,14
705	213,20	530,00	6,14

ANEXO E – Valores de frequência, K-Factor e distorção harmônica total da corrente.

Tempo (s)	Frequência (Hz)	K-Factor	THDi
0	59,96	4,62	67,10
5	59,96	4,62	66,92
10	59,96	4,61	66,93
15	59,96	4,61	66,95
20	59,97	4,60	66,93
25	59,97	4,60	66,92
30	59,97	4,60	66,90
35	59,96	4,60	66,88
40	59,98	4,60	66,87
45	59,99	4,60	67,16
50	60,00	4,60	66,57
55	60,00	4,60	66,97
60	60,01	4,60	66,83
65	60,01	4,60	66,87
70	59,99	4,60	66,84
75	60,00	4,60	66,86
80	60,00	4,60	66,86
85	59,98	4,60	66,85
90	59,99	4,60	66,85
95	59,97	4,60	66,87
100	59,98	4,60	66,85
105	59,97	4,60	66,85
110	59,99	4,60	66,86
115	60,00	4,60	66,85
120	59,99	4,59	66,41
125	59,99	4,58	66,45
130	60,00	4,57	66,47
135	59,98	4,56	66,46
140	59,99	4,55	66,40
145	59,98	4,54	66,19
150	59,98	4,54	66,18
155	59,96	4,53	66,11
160	59,96	4,53	66,11
165	59,95	4,53	66,14
170	59,96	4,55	66,60
175	59,97	4,57	66,63
180	59,96	4,61	67,16
185	59,98	4,65	67,30
190	60,00	4,70	67,71
195	60,00	4,75	68,08
200	60,01	4,81	68,26
205	60,00	4,86	68,77
210	60,01	4,91	69,29
215	59,99	4,98	69,34

ANEXO F – Tabela de valores, gerados pelo software do ScopeMeter no teste de recarga da bateria nos primeiros 40 minutos, com intervalos de 5 minutos.

Tempo (Hora)	Frequência (Hz)	Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)
11:55:00	60,04	126,9	51	0,70
12:00:00	60,04	126,9	50	0,70
12:05:00	60,03	126,8	50	0,70
12:10:00	60,00	126,7	50	0,69
12:15:00	60,03	126,8	50	0,69
12:20:00	59,99	126,8	50	0,69
12:25:00	60,00	126,8	49	0,68
12:30:00	60,03	126,9	49	0,68
12:35:00	60,03	126,9	49	0,68

ANEXO G – Tabela de valores, gerados pelo software do ScopeMeter no teste de recarga da bateria nos últimos 40 minutos, com intervalos de 5 minutos.

Tempo (Hora)	Frequencia (Hz)	Tensão (V)	Potência (W)	Corrente (A)
14:25:00	59,96	126,7	45,0	0,63
14:30:00	60,01	126,9	46,0	0,62
14:35:00	59,99	126,8	46,0	0,63
14:40:00	59,99	126,4	45,0	0,64
14:45:00	59,98	126,6	45,0	0,62
14:50:00	59,97	127,5	37,0	0,50
14:55:00	60,02	128,2	30,0	0,40
15:00:00	60,01	128,7	25,0	0,34
15:05:00	59,98	128,5	9,0	0,15

ANEXO H – Amostra da tabela de valores, gerados pelo software do Powersave, no teste de recarga da bateria nos primeiros 40 minutos, com intervalos de 5 minutos.

							
			Data Criação:	18/6/2013 17:52			
			ID Medidor:	Recarga_Scooter			
<i>Data</i>	<i>Hora</i>	<i>Wh</i>	<i>Potência (W)</i>	<i>Vrms (V)</i>	<i>Irms (A)</i>	<i>Frequencia (Hz)</i>	<i>F.P</i>
18/6/2013	11:55:00	3,70	44,49	127,05	0,61	60,00	0,58
18/6/2013	12:00:00	3,66	43,97	127,02	0,60	60,01	0,58
18/6/2013	12:05:00	3,63	43,67	126,62	0,60	60,02	0,58
18/6/2013	12:10:00	3,62	43,54	127,03	0,60	60,03	0,58
18/6/2013	12:15:00	3,61	43,38	126,27	0,60	60,02	0,58
18/6/2013	12:20:00	3,60	43,28	125,62	0,60	59,99	0,58
18/6/2013	12:25:00	3,60	43,28	126,22	0,59	60,01	0,58
18/6/2013	12:30:00	3,60	43,28	126,34	0,59	60,01	0,58
18/6/2013	12:35:00	3,60	43,24	126,26	0,59	60,00	0,58

ANEXO I – Amostra da tabela de valores, gerados pelo software do Powersave, no ensaio de recarga da bateria nos últimos 40 minutos, com intervalos de 5 minutos.

							
			Data Criação:	18/6/2013 17:52			
			ID Medidor:	Recarga_Scooter			
<i>Data</i>	<i>Hora</i>	<i>Wh</i>	<i>Potência (W)</i>	<i>Vrms (V)</i>	<i>Irms (A)</i>	<i>Frequencia(Hz)</i>	<i>F.P</i>
18/6/2013	14:25:00	3,61	43,42	126,91	0,59	60,01	0,58
18/6/2013	14:30:00	3,62	43,48	126,96	0,58	60,00	0,59
18/6/2013	14:35:00	3,62	43,49	126,79	0,58	60,00	0,59
18/6/2013	14:40:00	3,62	43,45	126,62	0,59	59,99	0,59
18/6/2013	14:45:00	3,61	43,43	126,53	0,59	60,00	0,58
18/6/2013	14:50:00	3,27	39,28	126,84	0,53	60,00	0,59
18/6/2013	14:55:00	2,62	31,44	128,72	0,42	60,01	0,59
18/6/2013	15:00:00	2,14	25,71	128,16	0,35	60,03	0,58
18/6/2013	15:05:00	0,98	11,83	128,57	0,21	60,01	0,43