

VE Latino Americano  
9º Salão Latino Americano de Veículos Elétricos, Componentes e  
Novas Tecnologias  
10 a 12 de Setembro de 2013 Expo Center Norte – São Paulo

Infra-Estrutura para a Medição e Aquisição de Dados de Desempenho  
de Veículos Elétricos.

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Faculdade de Engenharia.

Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas - LSPV

Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE.

André Rodrigues Krempser – Estudante de Graduação da UERJ

Ranther Ferreira de Melo – Estudante de Graduação da UERJ

Luiz Artur Pecorelli Peres – Professor Orientador da UERJ

### **Resumo**

O trabalho em pauta foi precedido pela conversão de uma Kombi para tração elétrica fruto de uma parceria da UERJ com o Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do CEFET-RJ em Maria da Graça. Contou-se com o patrocínio da WEG e a SATURNIA bem como os apoios da Light Serviços de Eletricidade S.A., da Fundação Rotariana para a Educação do Trabalho e da Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE. Esta Kombi que recebeu um troféu no evento internacional Challenge Bibendum 2010 e serve atualmente como plataforma para diversos experimentos. Neste sentido, o Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV onde funciona o Grupo de Estudos de Veículos Elétricos - GRUVE da Faculdade de Engenharia da UERJ está desenvolvendo procedimentos de medição e aquisição de dados de desempenho do banco de baterias da Kombi. Este projeto descreve o desenvolvimento de infra-estrutura projetada para suporte do conjunto de instrumentos envolvidos, inclusive computador que deverão estar a bordo da Kombi de forma segura bem como o planejamento das experiências a serem realizadas. A importância deste projeto é fundamental, pois visa propiciar dados fundamentais para a modelagem matemática

do funcionamento de baterias de veículos elétricos para a análise do seu desempenho. Tendo em vista que a Kombi é utilizada como um laboratório, diversos treinamentos de aquisição de dados de desempenho de veículos elétricos estão sendo realizados no âmbito do projeto de P&D/ANEEL Smart City Búzios. Neste sentido os autores manifestam os seus agradecimentos pelo apoio da empresa Ampla Energia e Serviços S.A. para este desenvolvimento.

### **Agradecimento:**

Os autores manifestam seu agradecimento à Ampla Energia e Serviços S.A., no âmbito do projeto de P&D/ANELL Desenvolvimento de Rede de Abastecimento de Veículos Elétricos para a Cidade Inteligente Búzios, pelo apoio para apresentação deste trabalho.

### **Introdução**

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.

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.

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. 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. 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%. De acordo com o Professor Paulo Roberto Feldmann, presidente do Conselho da Pequena Empresa da Fecomercio/SP, em entrevista 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 previsto para serem realizados no âmbito da rede de postos de recarga da cidade inteligente Búzios.

## 1. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A seguir, apresenta-se uma metodologia de avaliação da eficiência de veículos elétricos, através de testes realizados com a Kombi. 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 (2006 à 2008).

### 1.1 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. 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 1.1 e 1.2 apresentam, respectivamente, a vista frontal e lateral da infra-estrutura do suporte de instrumentos de aquisição de dados.



Figura 1.1. Vista frontal da estrutura de suporte de aquisição de dados. Figura: Acervo pessoal.



Figura 1.2. Vista lateral da estrutura de suporte de aquisição de dados. Figura: Acervo pessoal.

A figura 1.3, 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 1.3. 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 (em kWh), da Kombi ou de qualquer outro veículo elétrico, pode ser calculada pela equação (1.1).

$$E_d = \int_0^t v_d(t) \times i_d(t) dt = \int_0^t p_d(t) dt \quad (1.1)$$

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 (em kWh/km) da descarga das baterias da Kombi, bem como de qualquer outro veículo elétrico, através da equação (1.2).

$$ef_{bat} = \frac{E_d}{d} \quad (1.2)$$

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.

## 1.2 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 a qual foi 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 1.4.



Figura 1.4. 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 (em kWh), da Kombi ou de qualquer outro veículo elétrico, através da equação (1.3).

$$E_R = \int_0^t v_R(t) \times i_R(t) dt = \int_0^t p_R(t) dt \quad (1.3)$$

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.

### 1.3 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 (1.4).

$$ef = \frac{E_R}{d} \quad (1.4)$$

Sendo:

$ef$  – Eficiência do veículo elétrico.

O rendimento do processo de recarga é dado pela equação (1.5).

$$\eta = \frac{E_R - E_d}{E_R} \times 100\% \quad (1.5)$$

Sendo:

$\eta$  - Rendimento do veículo elétrico no processo de recarga.

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

## 1.4 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Tração

### 1.4.1 Equipamentos Convencionais

O instrumento utilizado tanto nos testes no modo de descarga da bateria, 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 1.5 e 1.6 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 1.5. Fluke 125 Industrial ScopeMeter.  
Figura: Acervo pessoal.

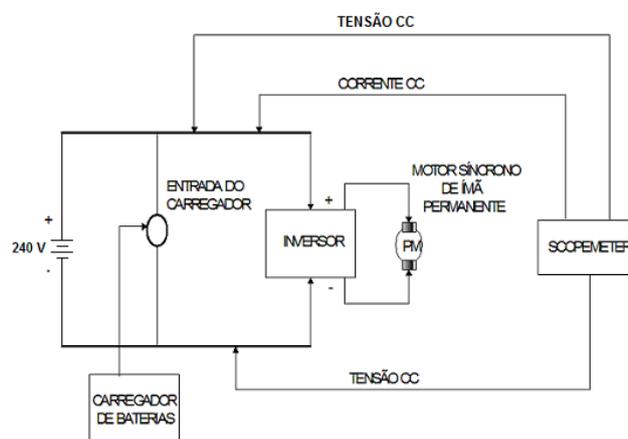


Figura 1.6. Diagrama de ligação do ScopeMeter no banco de baterias de 240 V da Kombi, no modo de tração, ressaltando a entrada para carregador de bateria.

Figura: Elaboração própria.

A figura 1.7 mostra o ScopeMeter instalado no interior da Kombi, durante um teste no modo de tração realizado pelo autor deste trabalho.



Figura 1.7. ScopeMeter instalado no interior da Kombi durante teste de tração.  
Figura: Acervo pessoal.

## 1.5 Equipamentos e Procedimentos para o Modo de Recarga

### 1.5.1 Osciloscópio Portátil

Conforme abordado, 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 1.5.2.

No modo de recarga, conecta-se o ScopeMeter ao painel de recarga, apresentado na figura 1.4, através dos terminais disponíveis para conexão dos clamps que registram sinais de tensão e corrente. A figura 1.8 mostra o diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do ScopeMeter na rede de alimentação durante o teste de recarga.

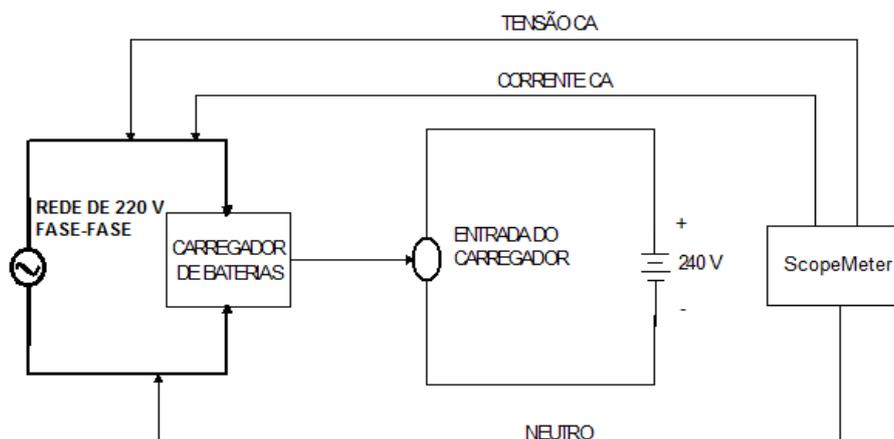


Figura 1.8. Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e ScopeMeter na rede de alimentação durante o teste de recarga.

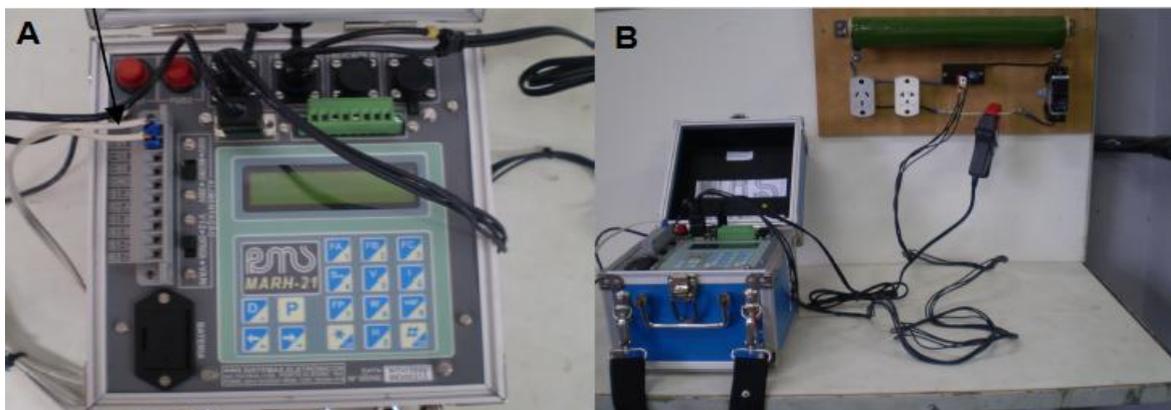
Figura: Elaboração própria.

### 1.5.2 Analisador de Energia

Nesta seção é apresentado o equipamento de análise de energia MARH 21, projetado pela empresa brasileira RMS Sistemas Eletrônicos. Ele é utilizado no registro de grandezas como tensões de Fase (Fase - Neutro), tensões de linha (Fase - Fase), correntes, fatores de potência, potências ativas, potências reativas, potências aparentes. Adicionalmente computa os valores totais de energia ativa (consumida ou fornecida), reativa capacitiva, reativa indutiva e 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 2, 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 1.1 e 1.3.

As figuras 1.9 A e 1.8 B apresentam, respectivamente, o MARH 21 sendo utilizado em teste de análise de recarga monofásica no GRUVE.



Figuras 1.9. Vistas superior e frontal do MARH 21 sendo utilizado em teste de análise de recarga monofásica no LSPV.

Figura: Acervo pessoal.

A figura 1.10 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.

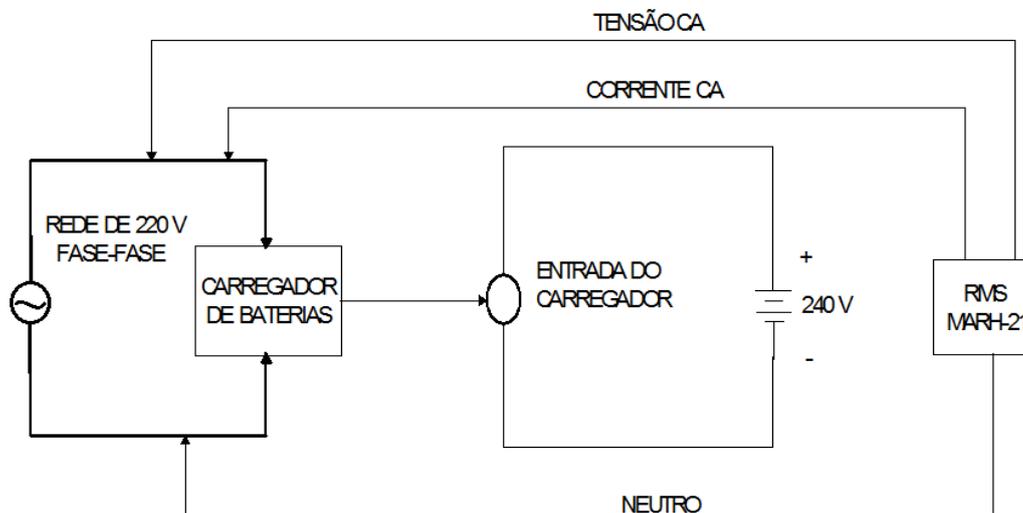


Figura 1.10. Diagrama esquemático de ligação do banco de baterias da Kombi e do MARH 21 na rede de alimentação durante o teste de recarga.

Figura: Elaboração própria.

## 2. RESULTADOS E ANÁLISES

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

## 2.1 Modo de Tração

Devido ao modo de configuração adotado para o ScopeMeter, apenas o valor da tensão do banco de baterias da Kombi deve ser considerada, embora outras grandezas apareçam registradas. Essa situação foi sanada, para futuras medições, através da aquisição de um adaptador especial para entrada de corrente no ScopeMeter.

A figura 2.1 mostra o gráfico da tensão gerado pelo software do ScopeMeter durante o teste em vazio, ou seja, com motor elétrico de tração da Kombi ligado, porém estando a mesma suspensa em elevador apropriado.

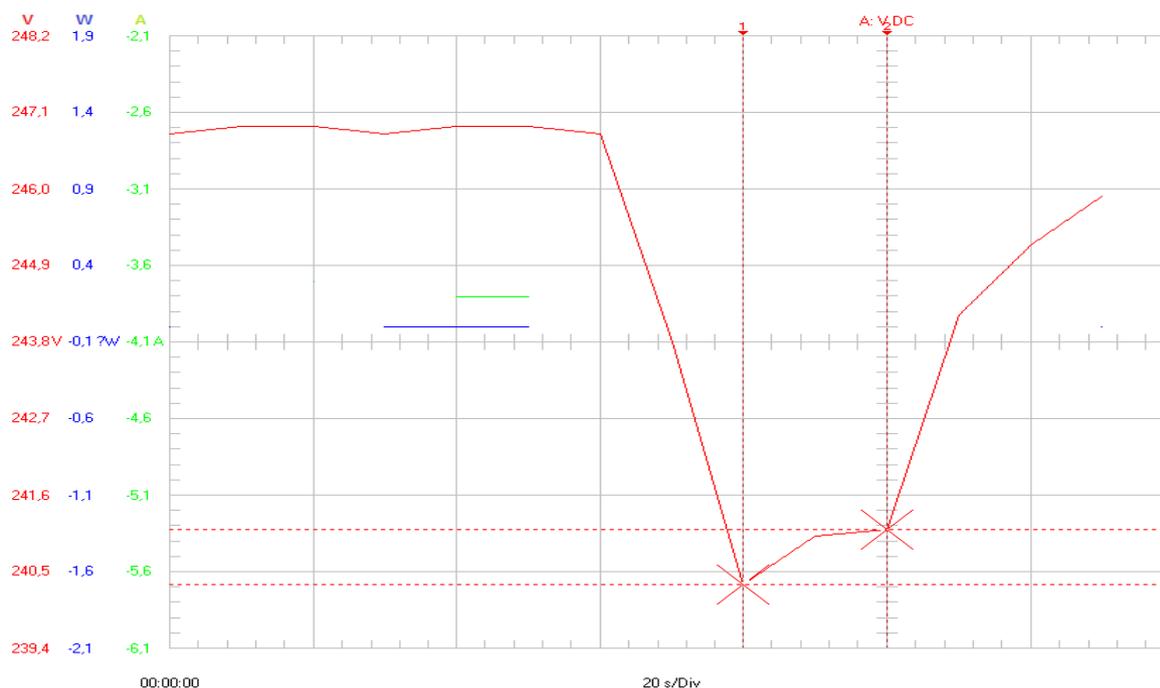


Figura 2.1. Gráfico da tensão do banco de baterias durante o teste de tração em vazio da Kombi, gerado pelo ScopeMeter.  
Figura: Elaboração própria.

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 2.2 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. 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 ocorreram quando a Kombi passou pelos pontos de maior inclinação.

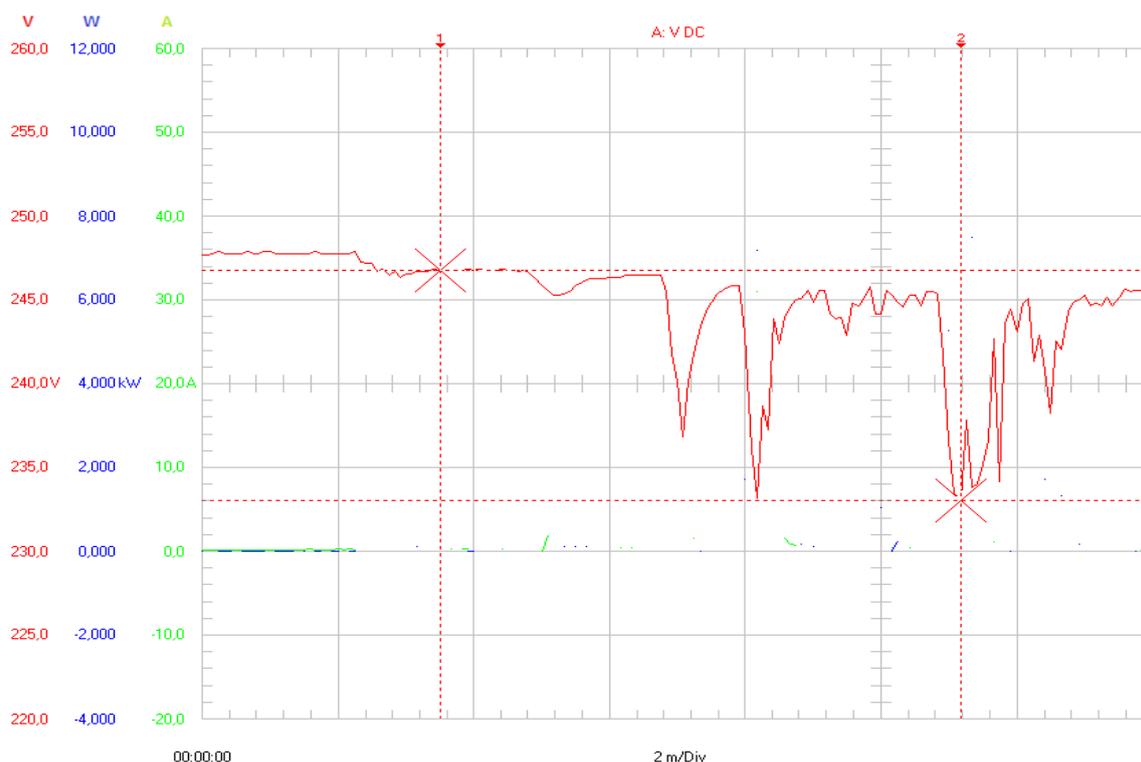


Figura 2.2. Gráfico de tensão do banco de baterias durante o teste de tração da Kombi, gerado pelo ScopeMeter.  
(Figura: Elaboração própria).

## 2.2 Modo de Recarga

A figura 2.3 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. 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.

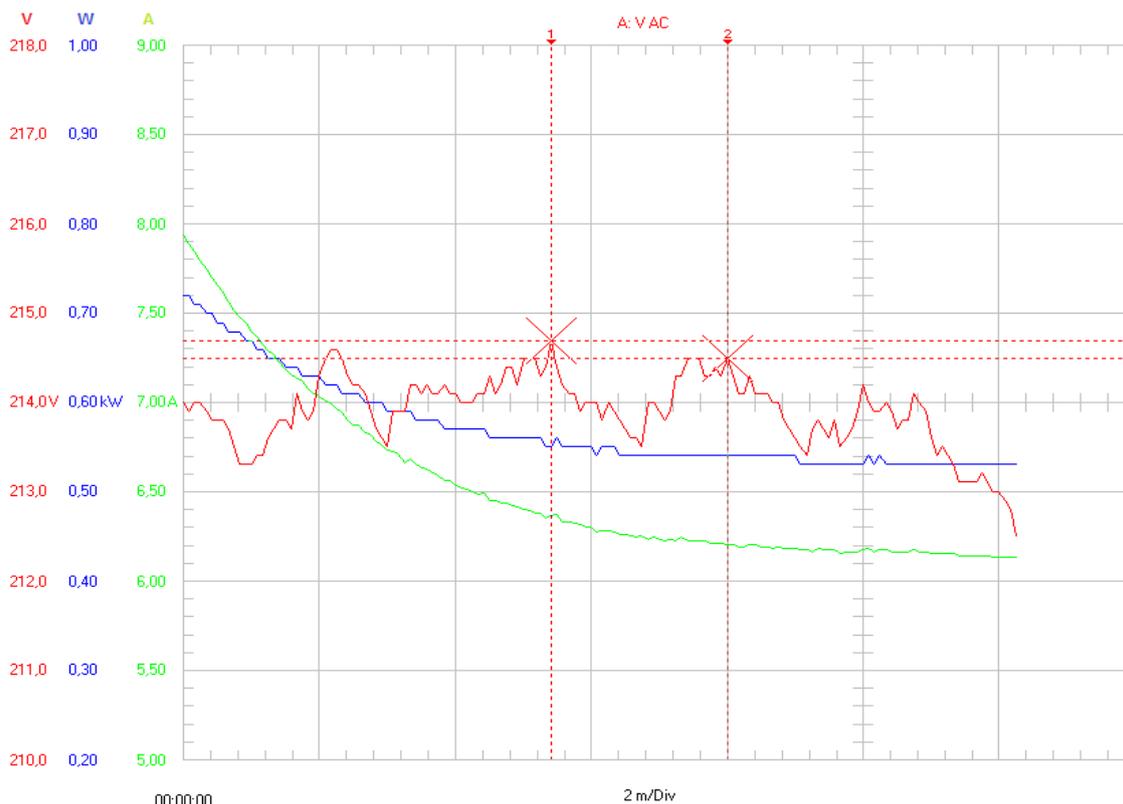


Figura 2.3. gráficos de tensão, corrente e potência durante o teste de recarga do banco de baterias da Kombi, gerados pelo ScopeMeter.  
Figura: Elaboração própria.

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, 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 2.4 mostra os gráficos de frequência, k-factor e distorção harmônica total da corrente – THDi plotados pelo software do ScopeMeter. 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. Como o k-factor é proporcional ao aumento da distorção harmônica, o mesmo acompanhará o crescimento da THDi.

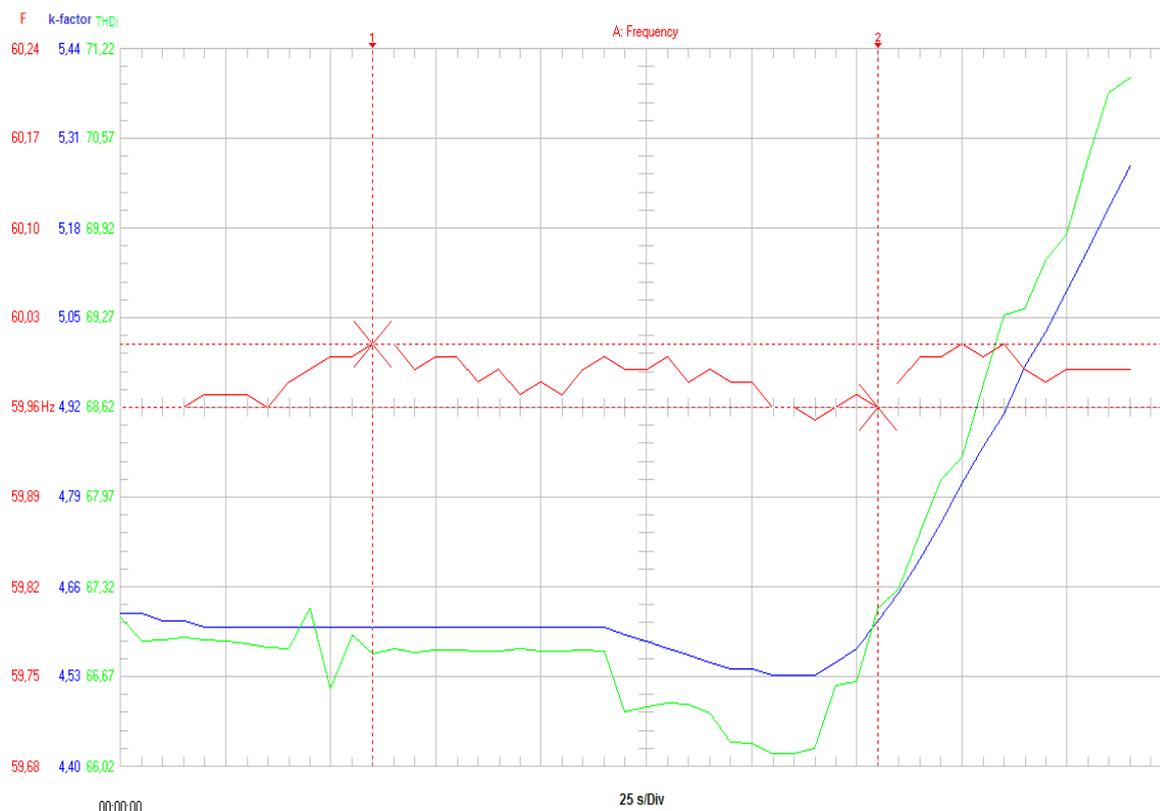


Figura 2.4. gráficos de frequência, k-factor e distorção harmônica total da corrente – THDi plotados pelo ScopeMeter, durante o teste de recarga do banco de baterias da Kombi  
Figura: Elaboração própria.

## 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.

A metodologia apresentada se mostra útil à integração dos VEs às redes inteligentes de energia. 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.

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

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.

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. ***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.

ROCHA, Leonardo, KREMPSER, 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.