



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciência
Faculdade de Engenharia

Washington da Costa

**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**

Rio de Janeiro
2009

Washington da Costa

**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 apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do curso de Mestrado Acadêmico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Área de concentração: Fenômenos de Transporte.

Orientador: Professor LUIZ ARTUR PECORELLI PERES

Rio de Janeiro
2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE UERJ/REDE SIRIUS/CTC/B

C837 Costa, Washington da.

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/ Washington da Costa. – 2009.

133f.: il.

Orientador: Professor Luiz Artur Pecorelli Peres

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

Bibliografia:

1. Motores elétricos – Projetos e construção.
2. Veículos automotores – Dispositivos de controle da poluição. I. Peres, Luiz Artur Pecorelli. II. Título.

CDU 621.3.061-83

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação.

Assinatura

Data

Washington da Costa

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 apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica curso de Mestrado Acadêmico da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Área de concentração: Fenômenos de Transporte.

Aprovada em: _____

Banca examinadora: _____

Orientador: Professor Luiz Artur Pecorelli Peres, da UERJ.

Professora Mila Rosendal Avelino, da UERJ.

Professor José Francisco Moreira Pessanha, da UERJ.

Professor Francisco da Cunha Pires Soeiro, da UERJ.

Professor João Carlos de Oliveira Aires, da UGF.

Rio de Janeiro

2009

Ao meu pai Domício, pelo aprendizado da solidariedade, *in memoriam*.
Ao meu irmão Wanderley, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Luiz Artur Pecorelli Peres, que através do seu entusiasmo e dedicação me ajudou a encontrar os caminhos que me levaram a realizar este trabalho.

À minha esposa Sônia e meus filhos Dora, João Luiz e José Luiz pelo apoio que sempre me dispensaram.

À minha mãe, meus irmãos e todos os meus familiares, particularmente à minha irmã Valéria, pelo apoio e solidariedade.

À Professora Mila Avelino, pelo incentivo e ajuda que me prestou durante a realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UERJ, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos estagiários da UERJ Cleiton Magalhães Freitas e Daniel Lucas dos Santos. Aos alunos do CEFET-RJ Diego Meireles e Filipe da Silveira, pela grande ajuda que me deram durante a realização deste trabalho.

À Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE, principalmente seu presidente Antonio Nunes Jr., pela valorosa contribuição que tem prestado ao propagar a tecnologia veicular elétrica e também pelo apoio oferecido.

Aos dirigentes da WEG Indústria Ltda. – Automação, pelo patrocínio e apoio técnico, sem os quais haveria muitas dificuldades para a realização deste trabalho.

Aos dirigentes da Saturnia, fabricante de baterias, pelo patrocínio e suporte para efetuar a montagem pretendida.

Aos meus colegas professores e aos alunos do NTA do CEFET-RJ, pela solidariedade prestada para que eu conseguisse chegar até aqui.

RESUMO

COSTA, WASHINGTON DA. 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, Brasil. 2009. xxf. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro, 2009.

Questões climáticas, atmosféricas e de poluição ambiental têm tornado o uso final da energia assunto de interesse mundial. Sistemas com tração elétrica oferecem a oportunidade de redução de emissões. O mix de energia caracterizado pela matriz energética brasileira viabiliza o desenvolvimento desta tecnologia. É desenvolvida aqui uma metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica. A metodologia considera fatores como o peso e tamanho, o torque de partida, transmissão e potência, entre outros. Ferramentas matemáticas e a prática corrente fornecem a base para a elaboração deste trabalho, que descreve a análise de desempenho de veículos elétricos, os componentes utilizados, as equações mecânicas e os critérios para escolha do veículo ideal para conversão. É apresentada a execução de um projeto de conversão de uma Kombi para tração elétrica, cujo objetivo tem caráter educativo, buscando assim promover os benefícios da tecnologia veicular elétrica. Para viabilização do experimento, o trabalho conclui que é necessário ampliar a demanda por nacionalização de tecnologia, o que tornaria o projeto uma realidade comercialmente viável. Além disto, há necessidade de políticas públicas para o incentivo da tecnologia veicular elétrica no Brasil. Este trabalho apresenta uma contribuição para converter veículos para tração elétrica, visto que sistematiza as etapas de projeto, a partir das quais outros poderão seguir, utilizando componentes encontrados no mercado nacional.

Palavras-chave: Veículos elétricos, conversão, motores elétricos, meio ambiente.

ABSTRACT

COSTA, WASHINGTON DA. Methodology to convert internal combustion engines vehicles to operate with electrical power: a radial magnets permanent flux magnet synchronous motor is custom-made to a Van, Brazil. 2009. Thesis (Mechanical Engineering Program) – College of Engineering, State University of Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro, 2009.

Climate changes, atmospheric characteristics and environmental pollution have turned the final use of energy an issue of special interest to be addressed by studies all over the world. The mix of energy, characterized by the Brazilian energy sources, makes it possible to consider the development and better understanding of this technology in order to reduce emissions. This work is mainly concerned in presenting a methodology to convert internal combustion engines vehicles to operate with electrical power. Methodology herein proposed takes into account aspects such as weight, size, departure torque, transmission, power and others. The methodology considers factors such as weight and size, departure torque, transmission, power and others. Mathematical tools and current practice provide the basis for preparing this work, which describes the analysis of electric vehicles performance, components used, mechanical equations, and criteria for choosing the ideal vehicle for conversion. It is presented the implementation of a project to convert a van in electric traction, whose main objective is trying to promote educational benefits of electric vehicle technology. In order to develop the experiment, the paper concludes the need of expanding the demand for nationalization of technology that would make the project a commercially viable reality. In addition, there is a need for public policies to encourage electric vehicle technology in Brazil. This work presents a contribution to convert vehicles to electric traction, since it systematizes steps of the project in which others would follow, based on what it is available in the domestic market.

Key words: electric vehicles, conversion, electric motors and Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Kombi, ano modelo 1982, disponível para o projeto	20
Figura 2 – Veículo elétrico Itaipu	28
Figura 3 – Veículo elétrico Itaipu E-400	29
Figura 4 – Gurgel Supermini	30
Figura 5 – Saveiro elétrico WEG	32
Figura 6 – FEI X-19 automóvel Astra convertido para veículo elétrico	34
Figura 7 – Palio elétrico Weekend	36
Figura 8 – Ford Courier 1980	38
Figura 9 – Ford Ranger 1993	39
Figura 10 – Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974	40
Figura 11 – Veículo Twingo eletrificado pela MES DEA	43
Figura 12 – Diagrama esquemático de um veículo elétrico	50
Figura 13 – Ciclo de testes SAE J227a	53
Figura 14 – Curvas de torque, potência de um motor Diesel	59
Figura 15 – Curvas de torque, potência de um motor ciclo Otto	60
Figura 16 – Curva característica de torque de um motor de indução	60
Figura 17 – Diagrama em bloco típico de um sistema de propulsão de veículo elétrico	61
Figura 18 – Envoltória de desempenho do veículo (primeiro quadrante $T_m > 0$ e $\omega_m > 0$)	62
Figura 19 – Classificação típica dos motores elétricos para propulsão EV	67
Figura 20 – EMS conjugado com um sistema de navegação elétrico	71
Figura 21 – Bateria comercial (ZEBRA) utilizada em veículos elétricos	74
Figura 22 – Dispositivo adaptado para medição de inclinações	81
Figura 23 – Sistema de coordenadas SAE J 670, americana	82
Figura 24 – Sistema de coordenadas ISO 4130 e DIN 70000, européias	82
Figura 25 – Motor de ímã permanente (especial) Alto Rendimento Plus da WEG ..	84
Figura 26 – Formas de onda da tensão e da corrente de alimentação	85
Figura 27 – Motor com ímãs superficiais (a) ou ímãs internos (b) no rotor	85
Figura 28 – (A) Curva de torque e velocidade dos motores com ímãs superficiais (B) Curva de torque e velocidade dos motores com ímãs internos	86

Figura 29 – Curva de torque e velocidade de um motor síncrono controlado por inversor	87
Figura 30 – Velocidade do veículo, em km/h referente ao item 3.7.2	91
Figura 31 – Potência em kW desenvolvida pelo veículo referente ao item 3.7.2	92
Figura 32 – Torque na roda e torque no motor, em Nm referente ao item 3.7.2	92
Figura 33 – Gráfico de velocidade do veículo, em km/h, <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.3	93
Figura 34 – Gráfico da potência, em kW, desenvolvida pelo veículo <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.3	93
Figura 35 – Gráfico do torque na roda, em Nm, <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.3	94
Figura 36 – Gráfico do torque no motor, em Nm, <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.3	94
Figura 37 – Gráfico de velocidade do veículo, em km/h <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.4	95
Figura 38 – Gráfico da potência em kW desenvolvida pelo veículo <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.4	95
Figura 39 – Gráfico do torque na roda, em Nm, <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.4	96
Figura 40 – Gráfico do torque no motor, em Nm, <i>versus</i> tempo referente ao item 3.7.4	96
Figura 41 – Alunos da UERJ e do CEFET em atividades de preparação da Kombi	100
Figura 42 – Espaço disponível para colocação do motor elétrico. A – Altura (600 mm); B – Largura (740 mm); C – Comprimento (460 mm)	100
Figura 43 – Parte traseira da Kombi (altura total do solo até o teto: 1.912 mm) ...	101
Figura 44 – Dimensões do compartimento interno da Kombi destinado ao banco de baterias e cargas a serem transportadas	101
Figura 45 – Circuito elétrico do sistema de propulsão	102
Figura 46 – Equipamentos e instrumentação	103

Figura 47 – Acoplamento projetado para adaptação do motor elétrico na caixa de marchas	105
Figura 48 – Alongamento da parte traseira da Kombi	106
Figura 49 – Inversor de potência WEG CFW09	106
Figura 50 – Cartão PLC	108
Figura 51 – Ilustração do programa WLP	109
Figura 52 – Sistema de aquisição de dados	111
Figura 53 – Veículo elétrico tratado como uma função	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do Itaipu	27
Tabela 2 – Características técnicas do Palio elétrico	35
Tabela 3 – Veículos elétricos convertidos ou elétricos de fábrica	37
Tabela 4 – Características técnicas do Ford Courier 1980, convertido	39
Tabela 5 – Características técnicas do Ford Ranger 1993, convertido	39
Tabela 6 – Características técnicas do Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974	40
Tabela 7 – Veículos, compatíveis para conversão, que circulam no Brasil	41
Tabela 8 – Custos típicos de conjuntos de componentes para conversão	44
Tabela 9 – Comparação de tecnologias elétricas veiculares	47
Tabela 10 – Dados necessários para realização dos cálculos da conversão	53
Tabela 11 – Velocidades e intervalos de tempo utilizados para o ciclo de testes SAE J227a	54
Tabela 12 – Quadro comparativo entre os motores utilizados para veículos elétricos	68
Tabela 13 – Comparação de baterias utilizadas em veículos elétricos	73
Tabela 14 – Classificação dos veículos terrestres segundo a CTB	78
Tabela 15 – Trechos percorridos e distância total do trajeto	81
Tabela 16 – Movimentos dinâmicos do veículo	82
Tabela 17 – Tabela referente às massas dos componentes do sistema	88
Tabela 18 – Tabela de eficiência adotada para os componentes do veículo	89
Tabela 19 – Dados complementares	89
Tabela 20 – Torque, potência e energia referentes ao item 3.7.1	90
Tabela 21 – Torque, potência e energia referentes ao item 3.7.2	91
Tabela 22 – Resultados referentes ao item 3.7.3	92
Tabela 23 – Torque, potência e energia referentes ao item 3.7.4	96
Tabela 24 – Resultados referentes ao item 3.7.5	97
Tabela 25 – Resumo dos resultados obtidos nos cálculos anteriores	98
Tabela 26 – Dados de veículos convertidos, eletrificados e fabricados	99
Tabela 27 – Dados resumidos do motor elétrico utilizado na conversão	104
Tabela 28 – Proposta de fatores experimentais e variáveis de resposta	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANOVA	Análise de Variância
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BJT	Bipolar-Junction Transistor
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEFET / RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CEPER	Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
EUA	Estados Unidos da América
FEI	Fundação Educacional Inaciana
FET	Field Effect Transistor
GTO	Gate Turn–Off Thyristor
HC	Hidrocarboneto
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
KWO	Kraftwerke Oberhash
LAFEA	Laboratório de Fontes Alternativas de Energia
LSPV	Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas
MCT	MOS Controlled Thyristor
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOS	Metal Oxide Semiconductor
MOS FET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
Ni-Fe	Níquel-Ferro

Ni-MH	Hidreto de Níquel Metálico
NO _x	Óxido de Nitrogênio
NTA	Núcleo de Tecnologia Automobilística
Pb-Acid	Chumbo-ácida
PBT	Peso Bruto Total
PID	Proporcional integrativo derivativo
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Rotação por minuto
SIT	Static-Induction Transistor
SITH	Static-Induction Thyristor
VE	Veículo elétrico
Zn-Br	Zinco-Bromo

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Aceleração final
A	Área
$a(t)$	Aceleração do veículo
a_0	Aceleração inicial
A_F	Área frontal do veículo
C_D	Coefficiente de arrasto
C_i	Capacidade da bateria
d	Distância
E	Energia consumida no percurso
f	Frequência
F	Força
F_{AD}	Força para vencer a resistência aerodinâmica
F_D	Força para vencer a resistência da inclinação do percurso
F_I	Força para vencer a inércia
F_{RR}	Força para vencer a resistência ao rolamento
F_{TR}	Força de tração desenvolvida pelo veículo
g	Aceleração da gravidade
I_m	Corrente elétrica do motor
K	Coefficiente de resistência ao rolamento
K_m	Constante do motor
M_e	Massa equivalente do veículo
N	Número de espiras
n_A	Rendimento total do sistema
n_T	Rendimento da transmissão
$P(t)$	Potência fornecida pela bateria
P_{AD}	Potência para vencer a resistência aerodinâmica
P_D	Potência para vencer a resistência da inclinação
P_I	Potência para vencer a inércia
P_m	Potência desenvolvida pelo motor
P_{RR}	Potência para vencer a resistência ao rolamento
P_T	Potência total desenvolvida pelo veículo

r	Raio do pneu
R_T	Relação de transmissão
R_{T0}	Relação de engrenagem do diferencial
R_{Tg}	Relação de engrenagem da transmissão
t	Tempo
T	Torque
T_a	Tempo de aceleração
T_{AD}	Torque aerodinâmico
T_b	Tempo de frenagem
T_{co}	Tempo de costeamento
T_{cr}	Tempo de cruzeiro
T_D	Torque para vencer a inclinação
t	Tempo em segundos
T_i	Tempo de parada
T_I	Torque para vencer a inércia
T_m	Torque do motor elétrico
T_R	Torque nas rodas do veículo
T_{RR}	Torque para vencer a resistência ao rolamento
v	Velocidade de deslocamento do veículo
$v(t)$	Velocidade de deslocamento do veículo em função do tempo
v_0	Velocidade inicial
V_{ci}	Tensão a V_0 da bateria
V_m	Velocidade de rotação do motor
v_{max}	Velocidade máxima
v_{Roda}	Velocidade de rotação nas rodas do veículo
W_V	Massa do veículo
X_0	Posição inicial
θ	Ângulo de inclinação do percurso
ρ	Densidade volumétrica do ar
Φ	Fluxo magnético
Φ_m	Fluxo magnético do motor
ω_b	Velocidade angular básica do motor
ω_m	Velocidade angular do motor
ω_{Roda}	Velocidade angular da roda

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	19
1	DESCRIÇÃO DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS DE CONVERSÃO E ELETRIFICAÇÃO DE VEÍCULOS	25
1.1	Veículos Elétricos no Brasil	26
1.1.1	<u>Gurgel Itaipu</u>	27
1.1.2	<u>Itaipu E-400</u>	28
1.1.3	<u>Kombi elétrica da UNICAMP</u>	29
1.1.4	<u>Projeto Superminielétrico da UNICAMP</u>	30
1.1.5	<u>Conversão de um veículo modelo saveiro para tração elétrica pela WEG</u> ...	31
1.1.6	<u>FEI X-19: Conversão de um automóvel Astra para veículo elétrico</u>	33
1.1.7	<u>Projeto Veículo Elétrico através da empresa Binacional Itaipu</u>	34
1.2	As Conversões pelo Mundo	37
1.2.1	<u>Conversão do Ford Courier 1980</u>	38
1.2.2	<u>Conversão do Ford Ranger 1993</u>	39
1.2.3	<u>Conversão do Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974</u>	40
1.3	Conversão para a propulsão elétrica: uma alternativa imediata	40
1.4	Eletrificação de veículos elétricos	43
1.5	Comparação de custos entre exemplos de conversão	44
2	DESEMPENHO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E PASSOS PARA A CONVERSÃO	46
2.1	Projeto da carroceria do veículo elétrico, VE	46
2.1.1	<u>Propulsão elétrica</u>	47
2.2	Passos para conversão de veículo a combustão interna para tração elétrica	48

2.2.1	<u>Planejando a conversão</u>	49
2.2.2	<u>Determinando o motor elétrico para aplicação no veículo</u>	50
2.2.3	<u>Definindo as baterias para o veículo</u>	56
2.2.4	<u>Determinação da autonomia para o percurso</u>	57
2.2.5	<u>Refazendo as simulações matemáticas</u>	58
2.2.6	<u>Algumas comparações entre motores</u>	59
2.3	Sistemas de propulsão de veículos elétricos	61
2.4	Gestão inteligente de energia	70
2.5	Baterias para os veículos elétricos	72
3	METODOLOGIA DE CONVERSÃO APLICADA NA KOMBI EQUIPADA COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA TRAÇÃO ELÉTRICA	76
3.1	Considerações técnicas	76
3.2	Classificações, definições e características relacionadas aos veículos terrestres	77
3.2.1	<u>Classificações</u>	77
3.3	Dados originais da Kombi	79
3.4	Percurso definido para o projeto	80
3.5	Considerações sobre a realização dos cálculos e adaptação da Kombi	82
3.6	Dados dos componentes principais para o sistema de propulsão	83
3.7	Cálculos efetuados	90
3.7.1	<u>Deslocamento no plano sem vento com velocidade constante 50 km/h e trecho de 1.050 m</u>	90
3.7.2	<u>Deslocamento no plano sem vento partindo do repouso com aceleração de 1 m/s² e atingindo velocidade máxima de 50 km/h no trecho de 1.050 m</u>	91

3.7.3	<u>Deslocamento sem vento em acive de 13 graus em percurso de 40 m partindo do repouso e atingindo a velocidade de cruzeiro de 20 km/h</u>	92
3.7.4	<u>Deslocamento sem vento partindo do repouso alcançando velocidade de 80 km/h em percurso de 1.050 m</u>	94
3.7.5	<u>Deslocamento no trajeto CEFET-RJ (MARIA DA GRAÇA) E UERJ (MARACANÃ)</u>	97
4	MONTAGEM E PROGRAMAÇÃO DE TESTES COM A KOMBI CONVERTIDA PARA A TRAÇÃO ELÉTRICA	100
4.1	Atividades relacionadas à preparação da Kombi	100
4.2	Circuito elétrico de potência e controle	102
4.2.1	<u>Dispositivos de potência e controle</u>	102
4.2.2	<u>Posicionamento e fixação dos dispositivos de potência e controle</u>	104
4.2.3	<u>Sistema de supervisão</u>	110
4.2.4	<u>Sistema de aquisição de dados</u>	110
4.3	Testes e ensaios após a montagem	112
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	117
	REFERÊNCIAS	120
	ANEXO A – Leis de incentivo à utilização de veículos elétricos	123
	ANEXO B – Dados da Kombi	124
	ANEXO C – Lista dos materiais utilizados na conversão da Kombi	126
	ANEXO D – Esquemas elétricos do sistema de propulsão da Kombi	127

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Este trabalho trata do desenvolvimento de uma metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica.

O texto em pauta descreve também a análise de desempenho de veículos elétricos, dos componentes utilizados, das equações mecânicas, os critérios para escolha do veículo ideal para conversão e apresenta a execução de um projeto de conversão de uma Kombi para tração elétrica, cujo objetivo é de caráter educativo, buscando promover os benefícios da tecnologia veicular elétrica.

As motivações para a realização deste trabalho foram iniciadas a partir dos entendimentos mantidos entre profissionais do Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/ RJ, situado no bairro de Maria da Graça, na cidade do Rio de Janeiro, e do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE da Faculdade de Engenharia da UERJ. Posteriormente, 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 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 disto, 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 neste trabalho.

O trabalho em pauta visa estabelecer, portanto, o modo e os procedimentos de conversão de veículos para tração elétrica, abordando não só os aspectos técnicos como também os legais para o licenciamento dos veículos convertidos, levando em conta as condições para a sua realização com os componentes

encontrados no mercado brasileiro. Adicionalmente, como desdobramentos da metodologia exposta, espera-se o seguinte:

- desenvolver testes de desempenho de veículos convertidos para tração elétrica;
- aplicar conhecimentos analíticos na execução de projetos;
- utilizar a Kombi convertida para transporte de pessoas e cargas para o CEFET/RJ e para a UERJ, bem como em exposições educativas e desfiles de veículos elétricos;
- incentivar a utilização da tecnologia veicular elétrica, tendo em vista seus benefícios energéticos e ambientais;
- aproximar as equipes de professores e alunos da UERJ e do CEFET/RJ para elaboração de experiências e trabalhos em conjunto;
- testar novos componentes que se adaptem ao projeto.

A Figura 1 apresenta foto da Kombi disponibilizada, no Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do CEFET/RJ que estava desativada.



Figura 1: Kombi, ano modelo 1982, disponível para o projeto

É importante acrescentar que 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 de dióxido de

carbono (CO₂) 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.

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), hidrocarboneto não queimado (HC) e óxido 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 a 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 significativas 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 1986, completou, em 2008, 22 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. Com a implantação da fase 6 do PROCONVE, prevista para 2009, espera-se que este programa seja efetivado.

No Brasil não existe nenhuma norma específica relacionada aos veículos elétricos. Acrescenta-se que 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 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 fabricação, conversão e utilização dos veículos elétricos, não existe um programa nacional e políticas públicas para o desenvolvimento e promoção de tecnologia veicular elétrica.

Tendo em vista o panorama apresentado, a conversão de veículos para a tração elétrica mostra-se factível como um dos segmentos a serem trilhados para a penetração desta tecnologia, de forma a se auferirem os benefícios advindos.

A seguir, visando facilitar a leitura deste trabalho, são descritos de forma resumida os assuntos abordados em cada capítulo.

O Capítulo 1 apresenta um breve histórico da evolução de projetos e empreendimentos de conversão e eletrificação de veículos. Também são citadas diversas experiências de conversão realizadas no Brasil e no exterior.

O Capítulo 2 trata do desempenho de veículos elétricos e os passos para a conversão veicular elétrica. Para tanto, ele apresenta as equações para determinação de torque e potência do motor elétrico utilizado numa conversão e comenta sobre os diversos dispositivos aplicados em veículos elétricos.

O Capítulo 3 trata da metodologia de conversão aplicada na kombi equipada com motor a combustão interna para tração elétrica e apresenta os critérios estabelecidos para conversão da Kombi, o trajeto definido para o projeto, os dados dos componentes principais utilizados e os cálculos efetuados.

O Capítulo 4 descreve a montagem da Kombi convertida e a programação de testes com o veículo.

1 DESCRIÇÃO DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS DE CONVERSÃO E ELETRIFICAÇÃO DE VEÍCULOS

Os veículos, inicialmente, eram movidos a vapor, eletricidade ou gasolina. A partir do desenvolvimento da indústria do petróleo, os veículos a gasolina dominaram o mercado. Em virtude da consciência ambiental sobre os malefícios causados ao meio ambiente, em consequência da queima do petróleo pelos veículos movidos a motor de combustão interna, vem aumentando a cada dia a quantidade de veículos elétricos em circulação em todo o mundo.

Uma demonstração desta nova tendência mundial aconteceu no Salão do Automóvel de Paris, entre 4 e 19 de outubro de 2008. Em matéria intitulada “Salão do Automóvel de Paris e os veículos elétricos”, publicada via Internet, na página da ABVE (www.abve.org.br), no dia 13/11/2008, Jayme Buarque de Hollanda, diretor-geral do Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE e presidente do Conselho Diretor da ABVE, relata:

Os elétricos híbridos

Estavam presentes as diversas famílias de veículos elétricos, que incluíam os híbridos puros, os híbridos plug-in (que, além dos combustíveis líquidos, têm sistemas de baterias com capacidade para armazenar energia de rede), os elétricos a bateria e alguns exemplares de veículos a hidrogênio que utilizam células a combustível para gerar a energia elétrica usada no seu acionamento.

Havia diversos exemplares de híbridos, notando a contínua liderança da Toyota através do Prius. O automóvel, que se encontra na terceira geração, é fabricado há dez anos e é líder de economia e de vendas na categoria, com mais de 300 mil unidades vendidas no ano passado. Continua a concentrar na característica "verde" do carro, mantendo a linha dos anos anteriores.

A Honda expunha a última versão do seu híbrido INSIGHT. A destacar a promessa na propaganda desta montadora de lançar, em março de 2009, um híbrido com preço mais acessível [...]

Os elétricos a bateria

Dos veículos elétricos a bateria, estavam presentes duas famílias bem diferentes. De um lado, possantes carros esportivos como o Tesla, com autonomia de 400 km e capazes de igualar e mesmo superar a performance da Ferrari e Lamborghini em algumas características como a aceleração usando um motor elétrico de apenas 50 kg. De outro lado, a maioria dos veículos elétricos a bateria eram quase todos compactos, muitos voltados para o transporte urbano de duas ou três pessoas ou para uso como utilitários de pequeno porte (carros de entrega e coleta de lixo, por

exemplo). Nesta categoria estavam tanto fabricantes tradicionais – Mitsubishi, Hyundai, por exemplo – quanto um grande número de novos "players" que incluía a Courrèges, fabricante de perfumes. Dentre os últimos, vale ressaltar o carro projetado pela italiana Pininfarina em associação com a Bolloré, importante fábrica francesa de baterias e de supercapacitores.

A novidade importante foi o *VOLT da GM*, prometido para chegar no mercado em 2011. Trata-se de um *elétrico a bateria* que possui extensor de autonomia cujo principal diferencial será a possibilidade de usar energia elétrica de rede (plug-in). A montadora, no final do século passado, oferecia o veículo elétrico mais avançado da época (EV-1), abandonou a tecnologia e volta agora apostando pesado.[...]

O interesse de Paris, cujo prefeito usa um Citroën elétrico, pelo tema renasce agora com o projeto Autolib, em que 4.000 carros elétricos a bateria ficarão estacionados em locais estratégicos da cidade e à disposição de qualquer pessoa, para transporte individual entre os pontos de estacionamento, pagando uma taxa por tempo de ocupação. É uma extensão de um programa que foi implantado na cidade com grande êxito para o aluguel de bicicletas.

O texto acima retrata uma tendência atual em relação aos veículos elétricos, podendo-se citar ainda centenas de iniciativas de fabricação e conversão de veículos em todo o mundo.

1.1 Veículos Elétricos no Brasil

No Brasil, diversas iniciativas têm acontecido, tanto na fabricação de veículos como também em relação a conversões; neste capítulo, são citadas algumas delas.

Para falar sobre este tema, é essencial destacar a GURGEL MOTORES, uma importante indústria nacional de automóveis, com capital 100% brasileiro, que em 25 anos produziu utilitários, carros urbanos e até elétricos. Foi fundada em 1º de setembro de 1969 pelo engenheiro mecânico e eletricitista João Augusto Conrado do Amaral Gurgel, que começou produzindo karts e minicarros para crianças. Em 1969 fundou a Gurgel Veículos; seu primeiro modelo foi um Bugre que se chamava Ipanema e utilizava chassi, motor e suspensão Volkswagen.

Em 1973 foi lançado o Xavante, que deu início ao sucesso da marca. Este foi seu principal produto durante toda a evolução e existência da fábrica. A princípio com a sigla X10, era um jipe eficiente em estradas ruins. Mas a grande ousadia para a época foi a fabricação de veículos utilizando a propulsão elétrica: a Gurgel lançou dois veículos elétricos – Gurgel Itaipu e Itaipu E400.

1.1.1 Gurgel Itaipu

Em 1974, a Gurgel apresentava um projeto pioneiro de carro elétrico (GURGEL 800, 2008), o Itaipu (Figura 2), alusão à usina hidrelétrica do mesmo nome. Era bastante interessante: ótima área envidraçada, quatro faróis quadrados e um limpador sobre o enorme para-brisa, que tinha a mesma inclinação do capô traseiro. Visto de lado, era um trapézio sobre rodas, um minicarro de uso exclusivamente urbano para duas pessoas, fácil de dirigir e manobrar, que usava baterias recarregáveis em qualquer tomada residencial de eletricidade. A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas do Itaipu.

Tabela 1 - Especificações técnicas do Itaipu

Carroçaria	Em fibra de vidro e tubos de aço, do tipo Plasteel, patente Gurgel, com dois lugares
Chassi	Tubular de aço integrado a carroçaria
Suspensão	Traseira do tipo barra de torção; dianteira, independente, de molas helicoidais, do tipo Mc-Pherson; amortecedores telescópicos
Direção	Do tipo pinhão e cremalheira
Freios	A tambor nas quatro rodas, de acionamento hidráulico; de estacionamento, mecânico, com ação nas rodas traseiras
Motor	Elétrico de CC, 3 kW (4,2 HP), 120 V, colocado longitudinalmente embaixo no centro do carro; com enrolamento de campo série e paralelo
Transmissão	Caixa de engrenagens com redução de 1: 4,35
Baterias	Dez baterias de 12 V cada uma, ligadas em série (total de 120 V), capacidade de 84 Ah
Sistema de aceleração	Controle eletrônico de aceleração de corrente seccionada, com tensão média de 2 a 120 V
Rodas e pneus	Rodas de magnésio, aro 13 e tala de 6 polegadas. Medida dos pneus 165x13
Desempenho	Velocidade máxima de 60 km/h
Tempo de recarga	Baterias descarregadas, 10 horas; a 50% de estado de carga, 2 horas e 30 minutos; a 10%, 30 minutos
Sistema elétrico	Faróis, lanternas, limpador de para-brisas e alimentação elétrica suplementar por uma bateria de 12V/36Ah
Dimensões	Comprimento: 2,65 m; largura: 1,40 m; altura: 1,45 m; distância entre eixos: 1,62 m
Pesos	Carro, 460 kg; baterias, 320 kg; total 780 kg
Autonomia	De 50 a 60 km

Fonte: <http://www.gurgel800.com.br>

Ele teria tudo para dar certo se não fossem os problemas com durabilidade, capacidade e peso das baterias, o que até hoje ainda é, de certa forma, um desafio que está sendo superado.



Figura 2: Foto do veículo elétrico Itaipu

Fonte: <www.gurgel800.com.br>

1.1.2 Itaipu E-400

Em 1980, depois de cinco anos de estudos, outro veículo de tração elétrica, o Itaipu E-400, fora para os primeiros testes (GURGEL 800, 2008). Tratava-se de um furgão com desenho moderno e agradável. Sua frente era curva e aerodinâmica, com amplo para-brisa e para-choque largo com faróis embutidos. Nas laterais havia somente os vidros das portas e os quebra-ventos; o resto era fechado. O painel era equipado com velocímetro, voltímetro, amperímetro e uma luz-piloto que indicava quando a carga estava por acabar. As baterias eram grandes e pesadas. O motor elétrico, um Villares de 8 kW (11 CV), girava à rotação máxima de 3.000 RPM, equipado com câmbio de quatro marchas, embreagem e transmissão.

O consumo, se comparado a um carro a gasolina, seria de 90 km/l, mas a autonomia era pequena, de apenas 80 quilômetros, em virtude da capacidade das baterias. Para recarga, eram necessárias em média 7 horas numa tomada de 220 V. Devido a este fator, era um veículo estritamente urbano. A velocidade máxima era de 80 km/h. Primeiramente o E-400 foi vendido a diversas empresas, para que fosse submetido a testes e avaliações. Depois da versão furgão, a empresa desenvolveu a picape de cabines simples e dupla e o E-400 para passageiros. O E-400 CD (cabine dupla), lançado no mercado em 1983, era um misto de veículo de carga e passageiros. A Figura 3 apresenta uma foto do veículo elétrico Itaipu E-400.



Figura 3: Veículo elétrico Itaipu E-400

Fonte: www.gurgel800.com.br

Enfraquecida no mercado pela concorrência das multinacionais e por falta de apoio governamental, a Gurgel pediu concordata em junho de 1993. Houve uma última tentativa de salvar a fábrica em 1994, quando a fábrica teve negado pelo governo federal um financiamento de US\$ 20 milhões, e acabou “fechando as portas” no final daquele ano.

O engenheiro João Gurgel deixou sua marca na indústria brasileira. Foi um homem à frente do seu tempo.

NOTA DE FALECIMENTO

Faleceu, dia 30/01/2009, aos 82 anos, João Augusto Conrado do Amaral Gurgel, após longa enfermidade.

Seu sonho era o de muitos brasileiros, o de termos uma marca nacional de veículos.

O sonho do grande brasileiro não acabou, pois suas ideias continuam vivas.

Aos seus familiares, as nossas condolências.

Washington da Costa, Luiz Artur Pecorelli Peres, GRUVE da UERJ e NTA do CEFET/RJ.

1.1.3 Kombi elétrica da UNICAMP

Trata-se de um veículo elétrico a bateria desenvolvido na UNICAMP, em 1984, como parte da tese de mestrado do engenheiro Gilmar Barreto, defendida em 1986 (BARRETO, 1986) a qual envolvia a conversão de uma Kombi para propulsão elétrica. O trabalho desenvolvido traz uma importante contribuição para a pesquisa sobre veículos elétricos. Já naquela ocasião o projeto tratava de maneira avançada os diversos sistemas para a adaptação de baterias, motor e controle de velocidade. O veículo foi testado inicialmente com um motor de CA corrente alternada de 20 HP,

controlado por um inversor de potência. Posteriormente este motor foi substituído por um motor de CC, corrente contínua, porque o inversor trifásico não apresentou, naquela ocasião, o desempenho esperado. As diversas etapas, descritas no trabalho realizado, apresentam uma série de questões relevantes ainda, nos dias de hoje. É importante destacar que entre os resultados deste trabalho foi elaborado o livro *Veículos elétricos*, escrito pelo próprio Gilmar Barreto e Celso Bottura, obra pioneira no Brasil, editada pela UNICAMP em 1989. (BOTTURA, 1989).

1.1.4 Projeto Superminielétrico da UNICAMP

De acordo com Dias (DIAS, 2007), o trabalho teve como objetivo propor um sistema de baixo custo para conversão de veículos leves e urbanos convencionais para propulsão elétrica. O projeto apresentou a viabilização de um kit prático de conversão que permite a substituição do sistema de tração original, operando segundo o ciclo Otto, para o sistema de tração elétrica movido a bateria. Para viabilização do projeto, foi utilizado o veículo Gurgel Supermini, totalmente nacional, fabricado pela Gurgel Motores S.A. entre 1992 e 1994. Dentre os fatores relevantes desta conversão está o peso e o baixo custo do modelo. O projeto, denominado “Desenvolvimento de um kit para conversão de veículos com motor a combustão interna em elétricos”, foi desenvolvido pelo Departamento de Eletrônica e Microeletrônica, DEMIC-FEEC-UNICAMP, em Campinas, São Paulo.

A Figura 4 apresenta uma foto do Gurgel Supermini, que possui um chassi tubular e estrutura em fibra de vidro. Com motor original bicilíndrico de 30 HP, o veículo atinge uma velocidade máxima de 120 km/h, com 630 kg de peso.



Figura 4: Gurgel Supermini
Fonte: www.gurgel800.com.br

O motor elétrico utilizado foi o modelo A00-4009, do fabricante Advanced DC Motors, com 10 HP de potência nominal e 30 HP a potência máxima de pico; é

importado, pois o custo, incluindo todos os impostos, inexplicavelmente, é 50% menor que o equivalente nacional. O motor original foi removido e foi construída uma flange de alumínio para acoplamento no câmbio original de tal forma que fosse realizada a adaptação para o funcionamento do motor elétrico.

O protótipo construído emprega um banco de 14 baterias alojado no compartimento bagageiro, com capacidade de 120 Ah, 84V aproximadamente 10 kWh, o que permite ao veículo uma autonomia típica de 50 km, trafegando a uma velocidade de 55 km/h. A velocidade máxima que o veículo pode atingir é de aproximadamente 95 km/h. A carga do banco de baterias é realizada em cerca de 9 horas e consome cerca de 12,5 kWh, o que representa um custo em torno de R\$ 4,10, pela tarifa da energia elétrica residencial em julho de 2007. Como uma carga de baterias permite andar cerca de 50 km, o custo final do quilômetro rodado (devido apenas ao consumo de energia) é de R\$ 8,20 por 100 km rodados, enquanto no Supermini convencional (motor a gasolina) este custo é de aproximadamente R\$ 25,00 por 100 km rodados. O controlador eletrônico desenvolvido, à base de transistores de potência do tipo MOSFET (MOS – metal oxide semiconductor; FET – Field Effect Transistor), apresentou alta eficiência (94%), tendo se mostrado uma solução extremamente confiável e robusta, e de custo atrativo. Além de testes funcionais em bancada, o protótipo está rodando na cidade de Campinas desde 2006, tendo sido licenciado e aprovado para transitar nas ruas e rodovias brasileiras, como um veículo com combustível elétrico de fonte interna.

O custo total do kit, incluindo o motor importado, é de aproximadamente R\$ 3.000,00 equivalente a aproximadamente US\$ 1.580,00.

Este protótipo funcional de baixo custo quebra, de certa forma, um paradigma, mostrando que a inserção da tecnologia veicular elétrica pode estar bem próxima (DIAS, 2007). Se considerada a possibilidade da utilização de baterias com maior densidade de energia a um custo razoável, o projeto se mostra com viabilidade promissora.

1.1.5 Conversão de um veículo modelo saveiro para tração elétrica pela WEG

A WEG Automação, indústria brasileira de equipamentos sediada na cidade de Jaraguá do Sul, em Santa Catarina, idealizou, no ano de 2003, a construção de

um veículo elétrico como uma oportunidade de uso dos produtos WEG, bem como o desenvolvimento de know-how em aplicações embarcadas. O protótipo foi montado a partir de um VW Saveiro CL 1.6 modelo 96/96 a gasolina com um motor de combustão interna de 82CV.

O projeto teve como finalidade:

- estudar o desempenho dos produtos e componentes WEG em aplicações embarcadas;
- avaliar o comportamento do modo de operação *sensorless* em controle de tração;
- adquirir know-how na área de automação de veículos de transportes rodoviários;
- desenvolver metodologia, ajuste e sintonia de inversor em aplicação embarcada.

Para a conversão do veículo, foram utilizados um conjunto de 20 baterias de 12 V ligadas em série, um motor de indução trifásico de 220 V e 20 CV, e um inversor trifásico de 220 V e 45 A, que converte a energia das baterias em tensão alternada para o motor quando o veículo está em tração. O mesmo inversor converte a energia elétrica proveniente do motor em tensão CC quando o veículo está em frenagem. Uma placa CLP (controle lógico programável), embutida no inversor, monitora o pedal do acelerador, freio e embreagem, executando as rotinas do programa de controle. Externamente existe ainda um carregador, usado para completar a carga do banco de baterias sempre que necessário. A caixa de marchas original do veículo foi mantida. A Figura 5 mostra de forma esquemática o sistema descrito.

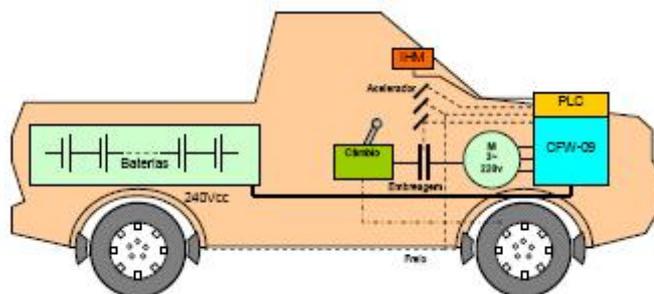


Figura 5: Saveiro Elétrico WEG
Fonte: WEG Indústrias S.A. – Automação

A aplicação deste desenvolvimento, atualmente, restringe-se ao transporte de pequenas cargas entre as duas plantas da WEG Automação, dentro do parque fabril. Ele é usado para demonstrações, dentro da empresa, para seus clientes e para testes de componentes e lógicas de controle.

O veículo elétrico da WEG é usado como um meio de transporte confiável, não poluente e de baixo custo de consumo por quilômetro rodado. O veículo percorre em média 500 km por mês e a velocidade máxima que pode ser atingida, com o motor elétrico a 3.600 RPM em 5ª marcha, é de 126 km/h. Normalmente, trafega-se dentro da empresa a 40 ou 60 km/h; com carga completa das baterias, o veículo apresenta autonomia em torno de 70 km. Este número pode ser maior ou menor, o que vai depender do regime de uso e do peso transportado. Atualmente, de acordo com a WEG Indústrias S.A. – Automação, as atenções estão voltadas para o desempenho das baterias e sua capacidade de recarga, visando estimar a vida útil das mesmas.

Participaram do desenvolvimento deste projeto: Umberto Gobbato (diretor superintendente), Valter Luiz Knihns (gerente de Projetos), Gean Carlo Dallagnolo (coordenador de Projetos), Alberto Luis Fischer (chefe da seção de Projetos Mecânicos), Lauro Marquardt (chefe da Produção), Michael Hubner (projetista de Software) e outros colaboradores que direta ou indiretamente contribuíram nas diversas etapas.

1.1.6 FEI X-19: Conversão de um automóvel astra para veículo elétrico

O primeiro modelo elétrico desenvolvido na FEI – Fundação Educacional Inaciana chamava-se Atos. Depois vieram o Merlin, o Girus e o X-17, este último venceu uma maratona de eficiência energética.

A conversão de um automóvel Astra para veículo elétrico a bateria foi fruto da parceria entre os cursos de engenharia automobilística e o IPEI – Instituto de Pesquisas e Estudos Industriais, ambos da FEI. O nome X-19 representa o 19º veículo experimental indicado pelo "X" (<http://quatorrodas.abril.com.br/carros>).

Foram usadas 24 baterias, cedidas pela empresa Acumuladores Moura S/A, outra parceira no projeto. O motor elétrico industrial fabricado pela Siemens tem 30 CV, 33 kgfm de torque e carcaça de alumínio, 288 V de tensão das baterias para 380 V que alimenta o motor através de um inversor de frequência, de fabricação

também da Siemens. Possui ainda um gerador de 13 CV, movido a gasolina, para recarregar as baterias em casos de emergência, sendo a tração dianteira e a transmissão com câmbio manual de 5 marchas, original do Astra. A mesma foi mantida porque o motor utilizado é um motor CA e a sua rotação é limitada em 3.600 RPM. A Figura 6 mostra o X-19.



Figura 6: FEI X-19 automóvel Astra, convertido para veículo elétrico

Fonte: <http://quatorrodas.abril.com.br/carros>

A recarga pode ser feita de duas maneiras: usando o gerador interno do veículo ou conectando o carro em uma tomada elétrica. Com a primeira opção, em uma hora e meia o X-19 já está em condições de operar com carga parcial; a recarga total por este processo leva cerca de três horas. Na tomada elétrica, a recarga é mais lenta e demora seis horas para recarregar totalmente as baterias.

O veículo é utilizado como laboratório experimental, e nos testes realizados vem demonstrando um desempenho razoável. Estão previstas modificações, dentre elas transformá-lo em veículo híbrido.

1.1.7 Projeto Veículo Elétrico através da empresa Binacional Itaipu

O objetivo desta iniciativa da empresa brasileira e paraguaia Itaipu Binacional, em parceria com a Fiat, KWO e MES-DEA, sendo as duas últimas da Suíça, é desenvolver no Brasil um veículo movido exclusivamente a eletricidade, bem como tornar sua utilização viável dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental.

Para isto foi celebrado, em agosto de 2004, um contrato de desenvolvimento de tecnologia, com prazo de cinco anos, entre a Itaipu Binacional, a montadora Fiat,

a Kraftwerke Oberhash (KWO), controladora de hidroelétricas suíças, além de empresas de tecnologia, concessionárias de energia elétrica e instituições de pesquisa do Brasil, Paraguai e Suíça. A meta é tornar este protótipo viável, e para tal pretende-se nacionalizar a fabricação de peças, baixar o custo, aumentar a autonomia e diminuir o tempo de recarga. A eletrificação de modelos como o Palio Weekend visa ocupar lugar na frota de empresas geradoras e distribuidoras de energia, espaço que foi ocupado nos anos 80 pelo Gurgel Itaipu. A Tabela 2 apresenta as características técnicas do veículo. A Figura 7 mostra a foto do Palio elétrico Weekend no salão do automóvel realizado em 2008, Anhembi, São Paulo.

Tabela 2 - Características técnicas do Palio elétrico

Suspensão	1) Dianteira: Tipo: McPherson com rodas independentes, braços oscilantes inferiores transversais e barra estabilizadora, amortecedores hidráulicos, telescópios de duplo efeito e molas helicoidais 2) Traseira: Com rodas independentes, braços oscilantes longitudinais, barra estabilizadora, amortecedores hidráulicos, telescópios de duplo efeito e molas helicoidais
Direção	Do tipo pinhão e cremalheira
Sistema de Freios	Hidráulico com comando no pedal. Dianteiro: a disco ventilado com pinça flutuante; traseiro: tambor com sapatas e regulagem automática; de estacionamento, mecânico com ação nas rodas traseiras; hidro-vácuo acionado por bomba de vácuo elétrica
Motor	Tipo: Elétrico assíncrono trifásico. Potência nominal: 15 kW (20 cv); potência máxima: 28 kW (37,8 cv); torque nominal: 50 Nm; torque máximo: 124 Nm; rotação: 9.000 RPM
Transmissão	Tração dianteira; caixa de redução relação de transmissão 50:1; marchas: drive, neutro e ré
Baterias	Níquel-Cloreto de Sódio; conhecida como Zebra (Zero Emission Battery Research Activity). Tensão: 253 V; mínima tensão de operação: 186 V; temperatura interna: 260°C; peso: 165 kg; capacidade: 76 Ah; corrente de carga: 16 A
Tempo de recarga	Tempo de recarga total: 8 horas
Pesos	Em ordem de marcha (Std A): 1.029 kg Carga útil (com condutor): 342 kg
Desempenho	Velocidade máxima: 110 km/h; autonomia: 120 km; aceleração: 0 a 50 km/h em 7s e 0 a 100 km/h em 28s
Consumo de energia	Para cada 100 km: 15 kWh

Fonte: <http://www2.itaipu.gov.br/ve/>



Figura 7: Palio elétrico Weekend
Fonte: Salão do automóvel, São Paulo, 2008

Na análise de viabilidade técnico-econômica da Itaipu Binacional, foi verificado que a iniciativa é sustentável quando considerada a possibilidade de uso na frota própria de veículos, o que é válido também para outras empresas de energia elétrica. No meio acadêmico, o projeto tem propiciado intercâmbio de informação e conhecimentos entre institutos de pesquisas, em universidades brasileiras, paraguaias e européias, além de proporcionar a capacitação de profissionais e geração de empregos e renda.

A oficina de montagem do projeto VE está localizada no Centro de Pesquisa Desenvolvimento de Veículos Movidos a Eletricidade, em Foz do Iguaçu, Paraná, em área pertencente à Itaipu Binacional, cedida em regime de comodato para a Fiat.

O Palio elétrico Weekend é dividido em dois conjuntos: o mecânico e o eletrônico. O primeiro, fornecido pela Fiat, é composto por carroceria, suspensão e demais dispositivos mecânicos; o segundo, fornecido pela Itaipu Binacional, é composto de motor elétrico, bateria, inversor e demais sistemas de controle produzidos pela MES-DEA. A capacidade de produção é de quatro veículos por mês. Além da montagem dos veículos, também são realizadas pesquisas.

Este projeto, também chamado VE, já montou inúmeros veículos que estão circulando em vários estados do Brasil, com o objetivo de, nos próximos anos, através dos dados obtidos, aperfeiçoar os diversos sistemas já instalados. Ficaram estabelecidas como metas principais: elevar a autonomia de 120 km para 450 km;

reduzir o tempo médio de recarga da bateria de 8 horas para 20 minutos; e desenvolver tecnologia para que o veículo funcione com ar- condicionado.

Entre as pesquisas realizadas com este veículo, deve se destacar o trabalho pioneiro feito em parceria da Ampla Energia e Serviços S.A. e a Faculdade de Engenharia da UERJ, aprovado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Este trabalho teve como objetivo a elaboração de uma metodologia de avaliação de desempenho de veículos elétricos. Para validação dos procedimentos utilizou-se o Palio Weekend elétrico fornecido pela Itaipu Binacional e pela Fiat à Ampla. Este projeto propiciou um eletroposto na sede da Ampla em Niterói, bem como a implantação do Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas – LSPV na UERJ. (PECORELLI PERES, 2009)

1.2 As Conversões pelo Mundo

Além das experiências apresentadas neste capítulo em relação às conversões realizadas no Brasil, em diversos países do mundo centenas de iniciativas vêm acontecendo durante os últimos anos. A Tabela 3 apresenta os números de fabricação e conversão de veículos elétricos de alguns países nos últimos anos. Os itens que se seguem são exemplos de algumas dessas experiências.

Tabela 3 - Veículos elétricos convertidos ou elétricos de fábrica

PAÍS	Veículos elétricos	PAÍS	Veículos elétricos
Estados Unidos	Mais de 800	Nova Zelândia	16
Canadá	131	Índia	9
Reino Unido	68	França	9
Austrália	53	Espanha	6
Alemanha	48	Brasil	6
Bélgica	19	Polônia	5
Noruega	18	Itália	4

Fonte: <http://www.evalbum.com/geo>, (Álbum de veículos elétricos de Austin, Estados Unidos, organizado por localização geográfica)

Apesar de ainda modestas, as pesquisas e o desenvolvimento dos veículos elétricos no Brasil crescem aceleradamente. A venda de carros híbridos, ônibus elétricos e híbridos, veículos para serviços urbanos e motocicletas está crescendo

nos Estados Unidos, Europa e em vários países da Ásia. Muitas montadoras e empresas têm planos para lançamento e novos modelos de carros elétricos (NUNES, 2008). Governos de diversos países oferecem incentivos, visando o uso de veículos com tração elétrica, por reconhecerem seus benefícios. Várias empresas e entidades públicas e privadas têm instituído programas para incentivar o uso de veículos elétricos, bem como substituir veículos convencionais de suas frotas por elétricos ou elétricos híbridos. Esta tendência mundial acontece principalmente em função da necessidade de redução de importação de petróleo e derivados e da redução das emissões de poluentes atmosféricos locais e globais. Entretanto, pode-se também agregar como elemento motivador para o crescimento da ideia dos veículos elétricos as centenas de iniciativas que ocorreram, nas últimas décadas, muitas delas bem-sucedidas, mesmo diante do descrédito relacionados a esta tecnologia. Isto se deve à maior atenção dada a este tema nas universidades, centro de pesquisas, empresas, organizações, políticas governamentais, bem como os entusiastas que contribuem para a atual evolução dos veículos elétricos.

Além dos resultados observados na Tabela 3, existem diversos veículos sendo fabricados, desenvolvidos e convertidos para tração elétrica em todo o mundo, e algumas experiências são apresentadas a seguir:

1.2.1 Conversão do Ford Courier 1980

Trata-se de uma iniciativa comercial da empresa Jet Industries (EUA). O veículo apresentado na Figura 8 pertence a Brendan Kirby de Knoxville, Tennessee, EUA. A Tabela 4 apresenta suas características técnicas.



Figura 8 – Ford Courier 1980
Fonte: <http://www.evalbum.com/142>

Tabela 4 - Características técnicas do Ford Courier 1980, convertido

Motor	“General Electric Series Wound DC 9" 23 HP”
Transmissão	Original 4 velocidades, com diferencial e embreagem
Sistema de Controle	Sistema de potência CC - DCP-600 Raptor
Baterias	20 Baterias US-145, 6 V, chumbo-ácido
Tensão total das baterias	120 V
Carregador de baterias	a) entrada externa 240 V b) Interna 120 V variac
Tempo de recarga	Tempo de recarga total: 8 horas
Conversor CC/CC	20A
Desempenho	Velocidade máxima: 112 km/h; autonomia: 96 km
Consumo de energia	Para cada 100 km: 15 kWh
Capacidade de carga	2 pessoas (adultos)

Fonte: <http://www.evalbum.com/142>

1.2.2 Conversão do Ford Ranger 1993

O veículo apresentado na Figura 9 pertence a Joe Weiss, de Binghamton, Nova York, EUA. A Tabela 5 mostra suas características técnicas.

**Figura 9** – Ford Ranger 1993

Fonte: <http://www.evalbum.com/2087>

Tabela 5 - Características técnicas do Ford Ranger 1993, convertido

Motor	Advanced DC FB4001A-72-144V – 19HP - 9”
Transmissão	Original
Sistema de Controle	Curtis 1221B – 72-120V CC – 400 ^A
Baterias	24 baterias Trojan T-125, 6.00 Volt, chumbo-ácido
Tensão total das baterias	144 V
Carregador de baterias	Entrada 220V
Conversor CC/CC	Astrodyne
Desempenho	Velocidade máxima 104 km/h – autonomia 80 km
Consumo de energia	420 Wh/Mile
Capacidade de carga	4 passengers using jump seats

Fonte: <http://www.evalbum.com/2087>

1.2.3 Conversão do Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974

O veículo apresentado na Figura 10 pertence a Thomas Brennan, de Seaford, Delaware E.U.A. A Tabela 6 mostra suas características técnicas.



Figura 10 - Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974

Fonte: <http://www.evalbum.com/1967>

Tabela 6 - Características técnicas do Volkswagen Super Beetle (Fusca) 1974

Motor	D&D Motor Systems, ES-31C 72-144 VCC – 18HP
Transmissão	Original
Sistema de Controle	Kelly KDH14500 - 144VCC
Baterias	10 baterias – 12 V - Chumbo-ácido
Tensão total das baterias	120 V
Carregador de baterias	Quickcharge 120Volt
Conversor CC/CC	12 V
Desempenho	Velocidade máxima 112 km/h – autonomia 112 km
Capacidade de carga	2 adultos

Fonte: <http://www.evalbum.com/1967>

Pode-se observar através dos exemplos apresentados que, no plano das conversões realizadas, em muitos casos fez-se necessária a manutenção da caixa de câmbio original. Esta solução visa compatibilizar o torque requerido do motor com a velocidade. Esta situação, se possível, deve ser evitada, para maior eficiência do conjunto e maior aproveitamento do controle dos motores elétricos.

1.3 Conversão para a propulsão elétrica: uma alternativa imediata

Devido à grande variedade de troca de sistemas de propulsão já desenvolvida, algumas delas apresentadas neste capítulo, fica demonstrada

claramente a viabilidade da conversão para tração elétrica dos veículos automotores que operam com combustão interna. As diversas frentes de pesquisa e a possibilidade de novos sistemas de armazenamento de energia elétrica, novos motores e o avanço tecnológico nos sistemas de controle demonstram que os trabalhos de conversão para tração elétrica não estão restritos às atividades de lazer (hobby), mas propiciam novas formas de negócio e aproveitamento de veículos, bem como a reciclagem de materiais que muitas vezes são tratados como sucatas.

No Brasil, para a conversão tornar-se viável economicamente, é possível utilizar veículos antigos que possuam um custo inferior para a construção de um veículo que atenda diversas aplicações. Para isto, é necessário observar, principalmente, espaços compatíveis para o motor e o banco de baterias. Os dados relativos ao peso do veículo e seus dimensionamentos estão diretamente relacionados ao tipo de utilização pretendida. Em uma conversão, deve-se procurar não alterar as características estruturais do veículo escolhido.

Na Tabela 7 estão apresentados alguns veículos que circulam no Brasil, compatíveis para conversão. Todos têm mais de 10 anos de uso e podem ser adquiridos por um valor razoável no mercado de veículos nacionais usados.

Tabela 7 - Veículos compatíveis para conversão, que circulam no Brasil

Veículos Leves	Peso kg	Comprimento (m)	Largura (m)	Volume p/ malas (l)	Carga útil (kg)
Chevrolet Chevette 1980	912	3,99	1,68	321 l	435
VW – Gol 1997	934	3,89	1,66	285 l	440
GM Kadett Ipanema 96	1020	4,34	1,85	500 l	450
VW – Parati 1998	1069	4,13	1,66	298 l	500
Fiat – Palio Weekend 1999	1080	4,21	1,63	460 l	500
GM Monza 1995	1105	4,50	1,80	407 l	475
VW – Santana 1989	1120	4,57	1,70	352 l	444
VW Santana Quantum 1989	1160	4,61	1,70	500 l	445
Ford – Escort 1994	1195	4,13	1,70	350 l	445
Ford – Versailles 1995	1215	4,61	1,69	340 l	445
Fiat – Tempra 1995	1220	4,35	1,70	413 l	400
Chevrolet Caravan 1977	1250	5,07	1,82	600 l	500
Ford – Del Rei	1335	4,49	1,7	430 l	444
Chevrolet Opala 1986	1400	4,80	1,90	500 l	420
A tabela continua na próxima pagina					

Continuação da Tabela 7					
Veículos Utilitários	Peso (kg)	Comprimento (m)	Largura (m)	Volume de carga (l)	Carga útil (kg)
Fiat – Fiorino 1992	1000	4,20	1,68	3200 l	620
Ford – Courier 1998	1045	4,46	1,69	3000 l	600
Ford – Pampa 1978	1104	4,42	1,70	580 l	440
VW – Saveiro 89	1115	4,46	1,65	870 l	705
GM – S10 1998	1680	4,88	1,73	860 l	770
Ford – Ranger 1998	1720	5,14	1,95	1455 l	1020

Fonte: Revista Mecânica Online - <http://www.mecanicaonline.com.br/>

Observa-se na Tabela 1.7, em relação aos veículos leves, que a diferença entre os veículos de maior capacidade de carga útil para aqueles de menor capacidade é relativamente pequena, em torno de 20%. Já em relação ao peso dos veículos a diferença é significativa, em torno de 50%. Portanto, é necessário levar em consideração o peso dos dispositivos que serão retirados do veículo e também o peso dos componentes que serão adaptados no processo de conversão. Em geral, esta diferença desfavorece os veículos elétricos convertidos em termos de peso e de espaço, principalmente quando as baterias tracionárias são do tipo chumbo-ácido, as únicas atualmente encontradas no mercado nacional. A solução, neste caso, por serem muito pesadas, tem sido a redução do número de passageiros e de carga transportada.

Em princípio, qualquer veículo com motor a combustão interna pode ser convertido em um veículo elétrico. De acordo com o modelo escolhido, pode-se obter uma eficiência razoável. Os mais leves, com boa aerodinâmica e com espaço para acomodar o banco de baterias, tendem a ser as melhores opções para conversão. Os utilitários são uma boa alternativa, devido às dimensões do bagageiro, que pode ser usado como compartimento de baterias. Veículos convertidos para uso urbano são interessantes, porque a autonomia dos veículos elétricos é limitada, em função, ainda, das baixas densidades de energia das baterias.

Os estudos dos veículos elétricos e dos sistemas a eles associados indicam que seu nível de maturidade é suficiente para a adoção da conversão para a tração elétrica em vários tipos de veículos existentes. A partir das experiências apresentadas neste capítulo, pode-se afirmar que é possível construir um veículo elétrico a um custo compatível com a realidade brasileira, conforme ficou

demonstrado pela experiência realizada pela UNICAMP com o Supermini da Gurgel, descrita no item 1.1.4.

1.4 Eletrificação de veículos elétricos

Uma experiência interessante vem sendo desenvolvida pela empresa MES-DEA na Suíça. Mais do que uma conversão, dedica-se à eletrificação de veículos. Neste caso, são desenvolvidos componentes modulares para que, de forma otimizada, sejam aplicados também em veículos novos. Desta forma, são produzidos motores, conversores, bombas de vácuo, carregadores para baterias e os próprios acumuladores. Vários modelos de veículos de fabricantes europeus podem ser adaptados. Como os componentes foram desenvolvidos de forma específica, a caixa de câmbio original é dispensável. Um ponto interessante é que tanto o motor de indução quanto o inversor são refrigerados a água, possibilitando uma grande redução de tamanho e volume. Com isto, o sistema de arrefecimento original é mantido.

Como exemplo, a eletrificação do Twingo Quickshift elétrico é apresentada na Figura 11. O sucesso do negócio é confirmado, visto que, em 2004, a MES-DEA (MES-DEA, 2008) iniciou a produção seriada de veículos eletrificados. A venda desses veículos ainda é restrita à Suíça e à Itália. Deve-se chamar a atenção para que, de acordo com as descrições do item 1.1.7, a MES-DEA é a empresa que fornece os componentes para o Palio Elétrico Weekend do projeto VE da Itaipu Binacional.



Figura 11 - Veículo Twingo, eletrificado pela MES-DEA
Fonte: <http://www.cebi.com/cebi/>

1.5 Comparação de custos entre exemplos de conversão

Neste item são descritos, conforme a tabela 8, custos típicos de conjuntos de componentes para conversão. Na tabela, aparece o tipo de conversão adotada, isto é, com motor CC ou CA, o país de origem, a entidade executora e o custo.

Tabela 8 - Custos típicos de conjuntos de componentes para conversão

Conversão Tipo	País	Entidade	Custo (*) US\$	Bateria	Ref
Motor de indução 20 Saveiro	Brasil	WEG	9.439,03	Incluída (**)	1
Motor CC 7,46 KW Superminini	Brasil	UNICAMP	1.580,00	Excluída	2
Motor de indução 15 KW Palio weekend	Suíça	MES-DEA	24.840,00	Incluída (***)	3
Motor CC 19 HP Golf VW	EUA	The Green Ecoprojects	6.300,00	Incluída (*)	4
Motor CA Veículo misto VW	EUA	Azure Dynamic	20.000,00	Incluída (*)	5
Motor CC 19HP Ford Ranger	EUA	Particular Robert Agee	9.000,00	Incluída (*)	6

Observações:

(*) Custos consultados junto às entidades mencionadas (referência: janeiro de 2009)

(**) Bateria incluída do tipo chumbo-ácida

(***) Bateria incluída avançada do tipo cloeto de sódio-níquel (ZEBRA). Neste caso, o custo da bateria de 253 V, 76 Ah, 165 kg é de US\$13.870,00. Caso fossem utilizadas baterias chumbo-ácidas, o peso seria da ordem de 550 kg e o preço aproximadamente 30%.

Referências (coluna 6):

(1) WEG Automação S/A; (2) UNICAMP; (3) Fiat do Brasil; (4) www.thegreenwire.org/;

(5) www.azureynamics.com/; (6) www.evalbun.com/1743.

Observando-se a Tabela 8, verifica-se que há uma grande variedade de custos envolvidos; caso se opte por componentes importados, estes custos se elevam. Conforme já foi abordado na introdução, a legislação brasileira para veículos não contempla os benefícios da tecnologia veicular elétrica. Com isto, quando esta é comparada com outras legislações mais atuais de países da Europa, América do Norte e Ásia, especialmente o Japão, verifica-se que estes benefícios são transformados em incentivos que promovem a viabilização da fabricação dos carros elétricos.

No Brasil, a fabricação de veículos elétricos “novos” encontra um dilema, visto que os impostos, principalmente o IPI¹, são bem mais elevados que os impostos para fabricação de veículos com motores a combustão interna.

Sendo assim, a conversão do veículo para tração elétrica, em decorrência desta situação bizarra, torna-se atrativa quando realizada com componentes nacionais, visto que não serão pagos nem os altos impostos de importação nem os elevados impostos que incidirão sobre os veículos elétricos novos. Uma vez estando construído o veículo convertido para tração elétrica, as taxas de Inspeção Técnica Veicular (ITV) do INMETRO², conforme as normas citadas na introdução, não representarão uma porcentagem expressiva sobre os custos da conversão.

¹ No IPI, enquanto são cobrados 7% do veículo convencional de até mil cilindradas, para o automóvel elétrico o valor é 25%, ou seja, quase quatro vezes mais. (Assembleia da ABVE, 2008)

² O valor cobrado, em dezembro de 2008, em um organismo de inspeção no Rio de Janeiro para inspeção técnica veicular (RTQ 24 do INMETRO) varia entre R\$ 180,00 e R\$ 300,00. fonte: (<http://www.setamt.com.br/novo/default.asp?sec=2>).

2 DESEMPENHO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E PASSOS PARA A CONVERSÃO

As soluções tecnológicas que envolvem os veículos elétricos são diversificadas e necessitam do conhecimento de engenharia elétrica, eletrônica, mecânica e química. Muitas disciplinas destas especialidades se integram nas áreas de projeto do chassi, da carroceria, das baterias, do motor elétrico, dos controladores etc., bem como da gestão inteligente dos fluxos de energia para a propulsão do veículo. Esta integração se dá em função da necessidade de otimizar os diversos sistemas do veículo, tendo como objetivo torná-lo mais leve, confortável e eficiente.

Este capítulo foi desenvolvido tendo como referência principal Chan (CHAN, 1997), no tocante às questões específicas relativas aos aspectos da eletrônica de potência, baterias e motores.

2.1 Projeto da carroceria do veículo elétrico, VE

Existem dois métodos básicos para desenvolvimento de VEs: a conversão de um veículo existente e o projeto e construção de um novo veículo. Para o método de conversão, o motor e os equipamentos associados de um veículo existente são substituídos pelo motor elétrico, controlador e baterias. Este processo pode oferecer alguma economia, porque o chassi, a carroceria e demais acessórios do veículo já existem e o preço de compra é relativamente baixo, quando se trata de um carro usado. Além disso, o processo de conversão não comercial pode ser elaborado à medida que se disponha de recursos. No entanto, na maioria das conversões, o veículo resultante apresenta um maior peso e tem alterado o seu centro de gravidade original, e esta diferença afetará a segurança e dirigibilidade do veículo.

O VE projetado e construído com este fim oferece mais possibilidades de otimização do que as conversões. Na concepção do projeto de um VE, os especialistas buscam a adequação dos vários componentes de modo que o conjunto funcione com mais eficiência. Os fabricantes buscam investir no desenvolvimento de VEs como um todo. Algumas diretrizes que são particularmente importantes para a construção de VEs estão relacionadas com a redução do peso, a segurança, o

coeficiente de arrasto da carroceria e a baixa resistência ao rolamento. Conforme a Tabela 9, estes elementos constituem dados importantes a serem observados nos VEs. Deve-se notar que o coeficiente de arrasto igual a 0,185 é o valor mais baixo entre os VEs citados. Quanto ao coeficiente de resistência ao rolamento apresentado pela Nissan FEV de 0,005, é cerca de 40% menor em relação aos pneus convencionais.

Tabela 9 - Comparação de tecnologias elétricas veiculares

DADOS TÉCNICOS	VEÍCULOS			
	GM Impact 4	Nissan FEV	BMW E1/E2	U2001
Peso total	1.384	900	915	1.973
Coeficiente de arrasto	0,185	0,19	0,32	0,34
Coeficiente de resistência ao rolamento	0,0048	0,005	0,008	0,0044
Velocidade máxima (km/h)	128	130	120	110
Aceleração (km/h, s)	0 a 96; 8,5	0 a 40; 3,6	0 a 50; 6	0 a 48; 6,3
Tipo de bateria	Pb-acid	Ni-Cd	Na-s	Ni-Cd
Peso da bateria (kg)	395	200	265	792
Nível de tensão (V)	312	280	180	264
Capacidade de energia (kWh)	16,8	11,6	28,8	37
Tipo de motor	Indução	Indução duplo	PM brushless DC	PM brushless DC
Tipo de transmissão	Planetária	Planetária	Planetária	Planetária
Tipo de conversor	IGBT inversor	IGBT inversor	MOSFET inversor	IGBT inversor

2.1.1 Propulsão elétrica

A propulsão elétrica propicia, em última análise, a tração mecânica às rodas, transferindo energia das baterias conforme a exigência, sob o controle do motorista. Do ponto de vista funcional, um sistema de propulsão elétrica pode ser dividido em duas partes: elétrico e mecânico. A parte elétrica inclui o motor, conversor de potência e controlador eletrônico. A parte mecânica consiste nos dispositivos de transmissão e acoplamento às rodas, incluindo naturalmente o chassi e carroceria.

Os dispositivos do câmbio de marchas, dependendo da arquitetura, são opcionais. A fronteira entre a parte elétrica e a mecânica é o espaço do motor, onde ocorre a conversão da energia eletromecânica. Para a propulsão elétrica, o sistema eletrônico de potência desempenha um papel importante e é por vezes descrito como o coração dos VEs.

2.2 Passos para conversão de veículo a combustão interna para tração elétrica

- 1) Escolha do veículo;
- 2) Determinação do trajeto, fixando-se a autonomia mínima pretendida;
- 3) Definição da velocidade máxima requerida;
- 4) Elaboração dos cálculos preliminares para obtenção dos valores de torque e potência exigidos;
- 5) Avaliação do sistema de transmissão original do veículo;
- 6) Identificação do motor elétrico mais adequado;
- 7) Definição do sistema de controle de velocidade para o motor;
- 8) Escolha do banco de baterias para o veículo, levando em conta: a tensão resultante e a corrente máxima, de forma a compatibilizá-la com o controlador que atuará no motor. Ademais, outras condições características devem satisfazer os critérios do projeto: densidade de energia e potência, espaço disponível e arranjos das conexões;
- 9) Elaboração de simulações utilizando como dado o peso total do veículo com a máxima carga prevista a ser transportada, considerando a retirada dos componentes de propulsão originais e inserindo os novos dispositivos previstos para a adaptação. Verificar o desempenho em trechos horizontais e em aclives;
- 10) A partir dos cálculos iniciais, otimizar o sistema adaptado para que se obtenha a maior eficiência possível durante o funcionamento do veículo;
- 11) Com os passos anteriores definidos, faz-se necessário consultar as legislações pertinentes para viabilizar a legalização do veículo para circulação e compatibilizar o projeto com a legislação vigente;
- 12) Executar a conversão com uma visão crítica em relação ao projeto previsto, tendo como objetivo aperfeiçoá-lo durante a realização do trabalho.

2.2.1 Planejando a conversão

Para a conversão de um veículo para tração elétrica, alguns fatores relevantes devem ser considerados, e em primeiro lugar destaca-se a busca daquele considerado o mais apropriado. Para isto, deve-se observar, inicialmente, os espaços compatíveis para o motor e o banco de baterias. Na fase de planejamento da conversão, alguns dados são essenciais, tais como o peso do veículo, o trajeto que o mesmo se propõe realizar, incluídos no item 2.2, pois, a partir destas informações é possível estabelecer o torque máximo do motor elétrico para vencer os aclives, como também a velocidade de rotação máxima que este deverá proporcionar para que o veículo obtenha uma velocidade final compatível.

Tomando como base a massa do veículo, é necessário observar duas condições importantes de deslocamento: a partida, quando o veículo terá de vencer a inércia, supondo o maior ângulo de inclinação em aclive do percurso e a velocidade máxima que o veículo pretende obter no plano. Estas condições permitem definir os torques necessários para cada uma das condições apresentadas anteriormente, e assim promover as adequações dos motores elétricos disponíveis. Vale lembrar que o peso máximo admissível pelo veículo (PBT) fornecido pelo fabricante é conhecido, considerando o veículo novo. Para efeito de cálculos, é importante estabelecer uma margem de segurança. Portanto, os valores adotados para simulação devem ser inferiores aos originalmente estabelecidos, visto que em uma conversão não se pretende alterar as características estruturais do veículo.

Uma vez determinado o peso do veículo admitindo-se a troca do sistema de propulsão, simula-se matematicamente um trajeto no plano. Nesta condição, determina-se o torque máximo necessário para vencer a inércia do veículo até que o mesmo atinja a velocidade máxima definida. Assim, é possível estabelecer o torque máximo necessário como também a velocidade máxima de rotação nas rodas do veículo nas condições consideradas, e conseqüentemente a do motor. Uma outra simulação deve ser realizada onde se considera a maior inclinação em aclive, prevista no trajeto. Esta inclinação definirá, em geral, o maior torque exigido nas rodas do veículo quando o mesmo estiver em operação dentro do percurso que se propõe a realizar. Com estas simulações é possível prever as duas condições de funcionamento extremas do sistema de propulsão, que são a exigência de torque

para que o veículo vença a subida de maior ângulo de inclinação do trajeto estabelecido e o comportamento do sistema quando o veículo atingir a velocidade máxima nas rodas.

2.2.2 Determinando o motor elétrico para aplicação no veículo

Para a escolha do motor elétrico ideal em um sistema de propulsão veicular, é importante que possua um elevado torque inicial e consiga desenvolver uma velocidade final condizente com as características definidas para o veículo, isto é, ao buscar obter um elevado torque, não se desconsiderar a velocidade máxima pretendida.

A configuração exposta na Figura 12 demonstra de forma simplificada os dispositivos principais, e facilita o entendimento para elaboração dos cálculos.

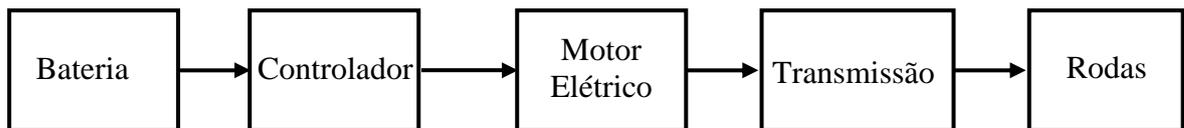


Figura 12 - Diagrama esquemático para determinação do motor de um veículo elétrico

De acordo com Larminie (LARMINIE, 2003), a força de tração, fornecida pela equação (2.1), é a soma das forças para vencer a resistência ao rolamento, a resistência aerodinâmica, a resistência da inclinação do percurso e a resistência para vencer a inércia.

$$F_{TR} = F_{RR} + F_{AD} + F_D + F_I , \quad (2.1)$$

onde a força de resistência ao rolamento F_{RR} pode ser escrita de maneira simplificada através da equação (2.2):

$$F_{RR} = K.M_e.g , \quad (2.2)$$

sendo:

K - Coeficiente de resistência ao rolamento;

g - Aceleração da gravidade em m/s^2 ;

M_e - Massa equivalente do veículo em kg incluindo a inércia rotacional que é aproximadamente igual a $1,03 W_V$, sendo W_V a massa do veículo em kg.

Para a força de resistência aerodinâmica F_{AD} a equação (2.3) fornece:

$$F_{AD} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_F \cdot C_d \cdot v(t)^2, \quad (2.3)$$

Sendo:

ρ - densidade volumétrica do ar em kg/m^3 ;

A_F - Área frontal do veículo em m^2 ;

C_D - Coeficiente de arrasto;

$v(t)$ - Velocidade de deslocamento do veículo em função do tempo (t) em segundos em m/s .

A força para vencer a resistência da inclinação do percurso é dada pela equação (2.4):

$$F_D = W_V \cdot g \cdot \text{seno}(\theta(t)), \quad (2.4)$$

onde:

θ - ângulo da inclinação do percurso em graus

A Força F_I para vencer a inércia é indicada na equação 2.5:

$$F_I = M_e \cdot a(t), \quad (2.5)$$

onde:

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

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

Obtendo-se a Força de tração F_{TR} determina-se o torque necessário nas rodas para movimentação do veículo utilizando a equação 2.6 descrita:

$$T_R = F_{TR} \cdot r, \quad (2.6)$$

onde:

T_R - Torque nas rodas do veículo em Nm ;

r - Raio do pneu em m .

Definido o torque nas rodas é possível determinar o torque do motor elétrico, que depende da relação de transmissão do sistema, conforme indicado pela equação (2.7).

$$T_m = \frac{T_R}{n_T \cdot R_T}, \quad (2.7)$$

onde:

R_T - Relação de transmissão;

n_T - Rendimento da transmissão.

No caso de uma conversão, busca-se o aproveitamento dos componentes de transmissão existentes originalmente no veículo. Deve-se observar a relação de transmissão entre a entrada do diferencial e as rodas, e em um segundo momento, após realização dos cálculos para determinação do torque e potência do motor, avalia-se a possibilidade de utilização da caixa de marchas. Utilizando o valor definido para o torque do motor pode-se calcular a potência que será desenvolvida.

Com o objetivo de sintetizar os dados para o planejamento de uma conversão para tração elétrica, a Tabela 10 apresenta as grandezas necessárias que devem ser utilizadas para realização dos cálculos do sistema de propulsão de um veículo elétrico. Estão apresentadas as variáveis de entrada, as constantes, os parâmetros e os dados que devem ser obtidos para o dimensionamento dos diversos dispositivos a serem adaptados.

Tabela 10 - Dados necessários para realização dos cálculos da conversão

Dados utilizados para planejamento de uma conversão para tração elétrica		
Variáveis de entrada		
W_V - massa total do VE (kg)	$v(t)$ - Velocidade do VE (m/s)	θ - ângulo de inclinação
$a(t)$ - aceleração do veículo (m/s^2)	η_T - Rendimento da transmissão	
Parâmetros		
A_F - Área frontal do veículo		R_T - Relação de transmissão
g - Aceleração da gravidade	C_D - Coeficiente de Arrasto	r - Raio do pneu
K - Coeficiente de resistência ao rolamento	ρ - Densidade volumétrica do ar	
Resultados nas rodas do veículo		
V_M - Rotação do motor (RPM)	ω_m - Velocidade angular do motor (rad/s)	
V_{roda} - Rotação nas rodas (RPM)	ω_R - Velocidade angular nas rodas (rad/s)	
Forças em (N)	Torques em (Nm)	Potências em (W)
F_I - Força para vencer a inércia	T_I - Torque para vencer a inércia	P_I - Potência para vencer a inércia
F_{AD} - Força aerodinâmica	T_{AD} - Torque aerodinâmico	P_{AD} - Potência aerodinâmica
F_D - Força para vencer a inclinação	T_D - Torque para vencer a inclinação	P_D - Potência para vencer a inclinação
F_{RR} - Força para vencer a resistência ao rolamento	T_{RR} - Torque para vencer a resistência ao rolamento	P_{RR} - Potência para vencer a resistência ao rolamento
F_T - Força de tração	T_R - Torque nas rodas do veículo	P_T - Potência total do veículo
	T_{Max} - Torque máximo no motor	Potência no motor (kw)
	T_m - Torque nominal do motor	Potência no motor (HP)

Observe que tanto a velocidade $v(t)$ como a sua derivada aceleração $a(t)$ são funções previamente estabelecidas através de um ciclo de testes. Um dos mais utilizados para simular o veículo é o ciclo de testes SAE J227a, apresentado em Larminie (LARMINIE, 2003), demonstrado na Figura 13. A Tabela 11 mostra as velocidades e intervalos de tempo relativos à Figura 13.

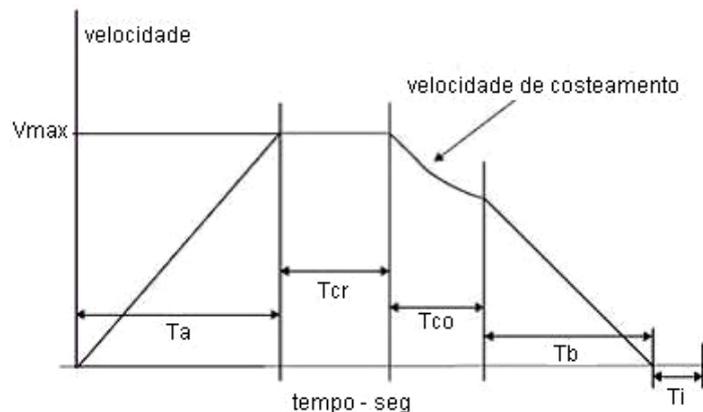
**Figura 13** - Ciclo de testes SAE J227a

Tabela 11 - Velocidades e intervalos de tempo utilizados para o ciclo de testes SAE J227a

Parâmetros	Unidade	Ciclo A	Ciclo B	Ciclo C	Ciclo D
Velocidade máxima – V_{MAX}	km/h	16	32	48	72
Tempo de aceleração – T_a	s	4	19	18	28
Tempo de cruzeiro – T_{cr}	s	0	19	20	50
Tempo de costeamento – T_{CO}	s	2	4	8	10
Tempo frenagem – T_b	s	3	5	9	9
Tempo de parada – T_l	s	30	25	25	25
Tempo total	s	39	72	80	122

Para obtenção das potências correspondentes às diversas componentes da força de tração, é conveniente utilizar de acordo com Pecorelli (PECORELLI PERES, 2007b) as seguintes equações onde as componentes da força foram multiplicadas por $v(t)$:

A potência P_I para vencer a inércia em W expressa em (2.8).

$$P_I = M_e \cdot a(t) \cdot v(t), \quad (2.8)$$

A potência P_{RR} em W para vencer a resistência ao rolamento expressa em (2.9).

$$P_{RR} = K \cdot W_V \cdot g \cdot v(t) \cdot \cos(\theta(t)), \quad (2.9)$$

A potência P_{AD} em W para vencer a resistência aerodinâmica expressa em (2.10).

$$P_{AD} = \frac{\rho \cdot A_F \cdot C_D \cdot (v(t))^3}{2}, \quad (2.10)$$

A potência P_D em W para vencer a resistência da inclinação do percurso expressa pela equação (2.11).

$$P_D = W_V \cdot g \cdot v(t) \cdot \sin(\theta(t)), \quad (2.11)$$

Uma outra forma aproximada para obtenção do coeficiente da resistência ao rolamento pode ser dada pela equação (2.12) conforme citado em Pecorelli (PECORELLI PERES, 2002).

$$K = 0,033 \left(1 + \frac{v(t)^2}{1500} \right), \quad (2.12)$$

Observa-se que, neste caso, para o cálculo do coeficiente K é diferente da equação (2.2), anterior, pois não apresenta o termo em função da velocidade.

A potência total em W desenvolvida pelo veículo é então expressa pela equação (2.13).

$$P_T = P_I + P_{RR} + P_{AD} + P_D, \quad (2.13)$$

Quanto ao torque, aplicado no motor, neste caso, fica expresso pela equação (2.14)

$$T_m = \frac{P_T}{\omega_M}, \quad (2.14)$$

onde:

ω_m - É a velocidade angular do motor em rad/s, sendo ω_R a velocidade angular das rodas, a velocidade angular do motor vem indicada na equação (2.15)

$$\omega_m = \omega_R \cdot R_T, \quad (2.15)$$

onde:

R_T - é a relação de transmissão.

Definido os valores de torque e potência do motor elétrico, busca-se um motor que proporcione ao veículo elétrico operar de maneira eficiente nas diversas condições apresentadas. Para escolha deste motor, deve-se considerar também o

espaço disponível para sua instalação, o peso e o volume, a sua arquitetura deve ser adequada para que se evite alterar as características originais do veículo.

Com os passos anteriores realizados, é possível determinar os dispositivos de suprimento de energia e controle. Estas definições são fundamentais, porque a partir delas fica estabelecido o novo peso total do veículo com o qual se podem otimizar os cálculos realizados.

2.2.3 Definindo as baterias para o veículo

Devido à energia específica de baterias eletroquímicas ser, geralmente, bem menor do que a energia específica da gasolina, para assegurar o desempenho de potência em níveis desejados é necessário um elevado número de baterias, principalmente se forem empregadas as do tipo chumbo-ácidas. No entanto, um veículo com um grande número de baterias apresenta diversas incompatibilidades, dentre elas: a redução dos espaços interiores para bagagens e passageiros, o aumento de peso, a redução do desempenho do veículo. Assim, é importante que, durante a fase de projeto do sistema de propulsão elétrica do veículo, os cálculos relativos ao dimensionamento das baterias sejam realizados com coerência, para não dificultar a conversão.

Para definição do banco de baterias, dois caminhos podem ser tomados. O primeiro leva em conta a limitação existente em relação ao espaço disponível para colocação das baterias e o peso suportável pela estrutura do veículo. Assim, buscase dentre as baterias disponíveis no mercado aquelas de menor custo e que possuam uma razoável densidade de energia, isto é, as mesmas devem ser definidas de maneira a fornecer o máximo de energia dentro das limitações apresentadas. O segundo caminho se dá a partir da obtenção dos dados do banco de baterias. Dessa forma, calcula-se a autonomia possível dentro do trajeto estabelecido.

De acordo com o trabalho de Pecorelli (PECORELLI PERES; HORTA NOGUEIRA; LAMBERT, 2002), para a energia fornecida pelas baterias no percurso em kWh no intervalo $t_1 - t_0$ é dado pela equação (2.16).

$$E = \frac{1}{36 \cdot 10^5 \cdot n_A} \int_{t_0}^{t_1} P(t) dt , \quad (2.16)$$

onde:

E - é a energia fornecida pelas baterias em kWh;

n_A - é o rendimento total do sistema, ou seja, o produto dos rendimentos de cada componente, desde o motor até a bateria.

A potência fornecida pelo banco de baterias é dada então pela equação (2.17), onde $P(t)$ é a potência fornecida pelo banco de baterias em W, isto é:

$$P(t) = \frac{P_M}{n_A} , \quad (2.17)$$

onde:

P_M - é a potência mecânica desenvolvida pelo do motor.

2.2.4 Determinação da autonomia para o percurso

O percurso que foi estabelecido deverá ser dividido em trechos que permitam a verificação do consumo de energia nas diversas situações impostas pelo trajeto. Assim, é necessário conhecer as somas das distâncias a serem percorridas em terreno plano, com as suas possíveis paradas e retomadas de movimento, a soma das distâncias percorridas em aclives e declives, e também as diversas velocidades para cada trecho do percurso.

Com a obtenção da quantidade de energia necessária para que o veículo percorra o trajeto, deve-se estabelecer uma margem de segurança em relação a esta energia consumida, como também é importante levar em conta o consumo de energia que acontecerá em função dos dispositivos elétricos instalados para os diversos sistemas auxiliares: iluminação, sinalização, bomba de vácuo para frenagem etc. Para se dispor de uma margem de segurança, normalmente adota-se

para quantidade de energia disponível em um banco de baterias, para efeito de cálculos relativos à autonomia do veículo 80% da mesma.

Assim, obtendo-se a energia total consumida durante os diversos trechos do percurso e a capacidade de energia fornecida pelo banco de baterias, pode-se estabelecer a autonomia esperada do veículo elétrico. A aplicação das equações e os métodos acima relatados para obtenção das potências e da energia necessária para propulsão veicular elétrica são apresentados no próximo capítulo. De forma aproximada, caso se considerem os elementos do banco de baterias em série, o número N destes elementos será dado pela equação (2.18).

$$N = \frac{E}{V_{ci} C_i / 1000}, \quad (2.18)$$

onde:

V_{ci} – Tensão a V_0 da bateria em V

C_i – Capacidade da bateria em Ah

Este cálculo aproximado permite determinar o peso total do banco de baterias. Caso não haja adequação do projeto para a bateria inicialmente escolhida, deve-se adotar outro elemento até que se ajuste a situação.

É de todo importante lembrar que a equação (2.18) não leva em conta as variações de tensão e corrente durante o trajeto. Neste sentido, deve-se procurar a bateria que ofereça a melhor densidade de potência e razão de descarga.

2.2.5 Refazendo as simulações matemáticas

Com a determinação dos novos dispositivos para propulsão elétrica do veículo, os cálculos deverão ser novamente realizados, desta vez, utilizando como dado o novo peso do veículo, considerando a retirada dos componentes de propulsão originais e inserindo os novos componentes previstos para a adaptação.

Assim, será possível aferir ou redimensionar o sistema de propulsão planejado preliminarmente, como também verificar a possibilidade de instalação de outros dispositivos que venham melhorar o desempenho do veículo, inclusive em termos de conforto e segurança.

2.2.6 Algumas comparações entre motores

Antes de descrever os motores elétricos, é importante um breve esclarecimento sobre as diferenças existentes quando comparados com os motores a combustão interna, para os quais os veículos a serem convertidos foram originalmente projetados.

Os motores de combustão interna possuem características diferentes dos motores elétricos. Nos motores Diesel, o torque em baixa rotação é alto quando comparado ao motor Otto, e com o aumento da rotação não há grandes quedas. A curva de torque em relação à rotação se mantém aproximadamente constante, o mesmo ocorrendo com a potência.

O motor Diesel possui um regime de rotação inferior ao Otto. Por este motivo, motores Diesel são mais indicados para trabalhos que exigem maior torque. As Figuras 14 e 15, conforme Carvalho (CARVALHO, 2004), apresentam as curvas de torque e potência de um motor Diesel e de um motor Otto, onde se observa que, após atingirem um valor máximo, há um decréscimo apreciável do torque e da potência.

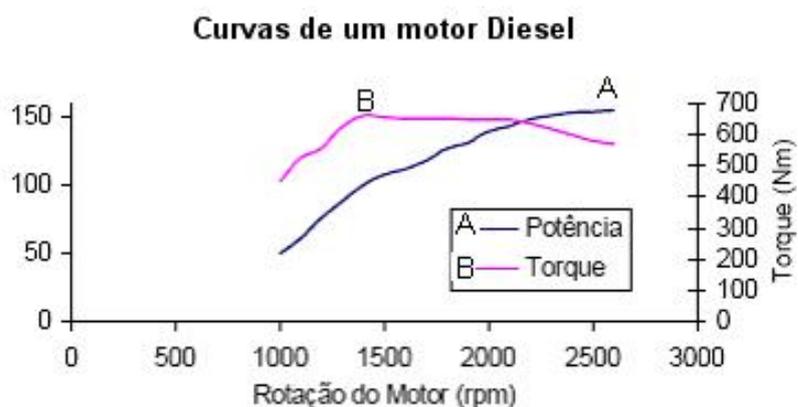


Figura 14 - Curvas de torque, potência de um motor Diesel

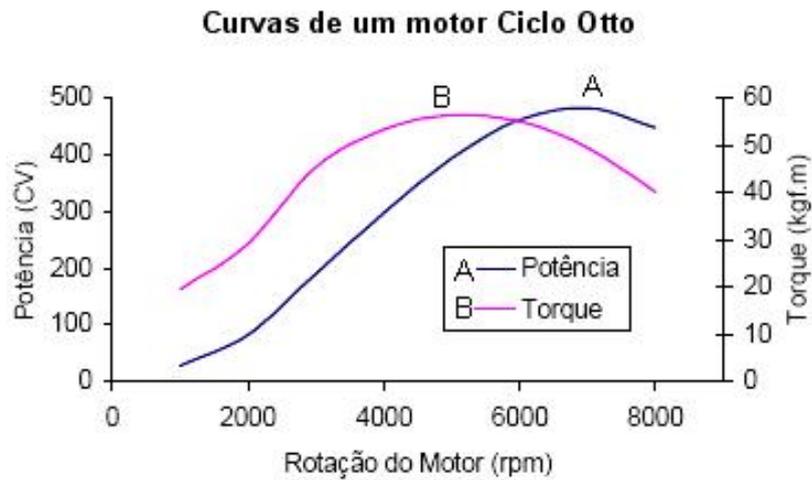


Figura 15: Curvas de torque, potência de um motor ciclo Otto

Com respeito aos motores elétricos em baixas rotações, dependendo do tipo considerado, este pode possuir torque elevado, como é o caso do motor série de corrente contínua, que durante muito tempo foi utilizado de forma preferencial para tração elétrica. Como exemplo, está representada graficamente a variação do torque com a velocidade, para um motor de indução típico, conforme se observa na Figura 16.

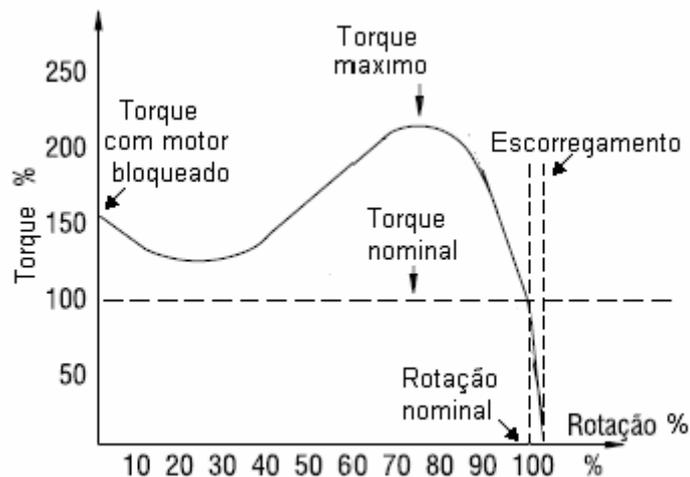


Figura 16 - Curva característica de torque de um motor de indução

Fazendo uma comparação entre os motores de combustão interna e os motores elétricos, a partir dos gráficos apresentados, pode-se observar que já nas velocidades iniciais de partida de um motor elétrico de indução o torque pode chegar a um valor 60% superior ao torque nominal, enquanto os motores de combustão

interna só começam a produzir torque mais elevado para o sistema de propulsão quando o mesmo atinge rotações elevadas. Além disso, os motores elétricos apresentam valor de potência e torque de curta duração que podem chegar a valores muito superiores aos das condições normais, o que possibilita uma enorme flexibilidade em condições de acelerações bruscas.

2.3 Sistemas de propulsão de veículos elétricos

O trabalho em pauta aborda a conversão para tração elétrica de veículos que utilizam exclusivamente acumuladores como fonte de energia, comumente chamados de baterias, acoplados a um controlador e apenas um motor elétrico para tração. Neste item, serão abordados estes tópicos, e, para ilustrar a estrutura de associação destes componentes, foi utilizada a Figura 17, que procura resumir os aspectos principais envolvidos (CHAN, 1997). Conforme pode ser observado, o controlador reúne dois blocos: o de controle eletrônico e o do conversor de potência. Em cada um deles aparece uma sigla relativa aos diversos tipos envolvidos.

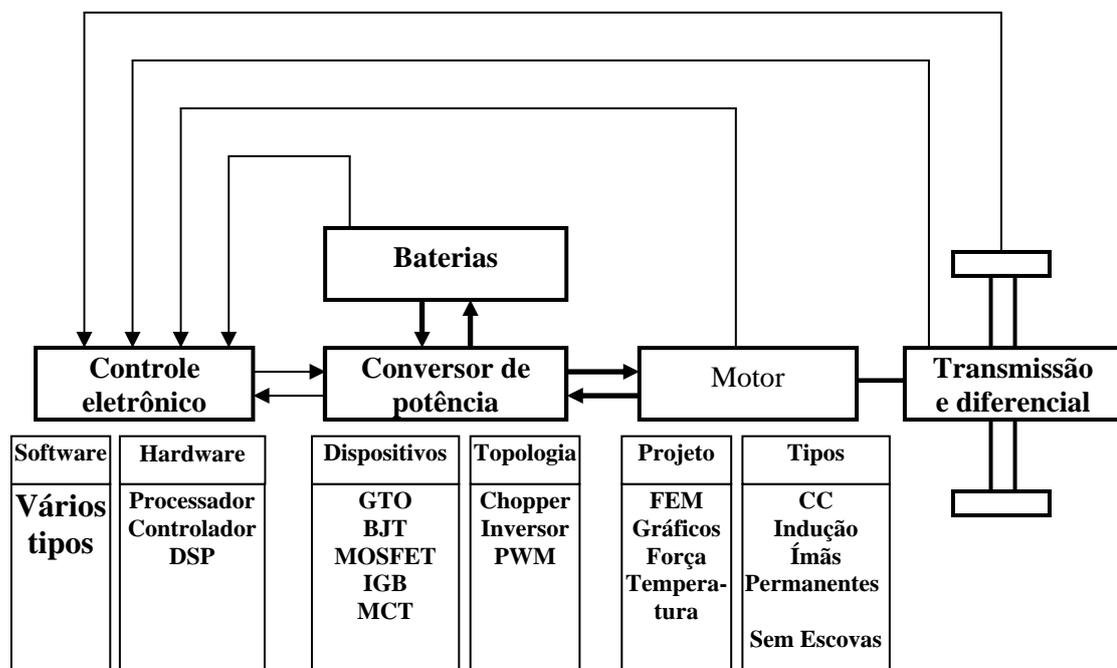


Figura 17 - Diagrama em bloco típico de um sistema de propulsão de veículo elétrico

De uma maneira geral, o desempenho dos veículos elétricos é avaliado em termos da aceleração, da potência e dos parâmetros de transmissão, de forma a atender as necessidades previstas. O estabelecimento de todos os parâmetros considerados depende em grande parte da característica torque-velocidade do veículo.

No caso dos veículos elétricos, esta característica é constituída por uma envoltória cuja forma típica aparece na Figura 18, onde também é apresentado o comportamento da potência. Um ponto importante a destacar é o estabelecimento da velocidade base, que vai depender do tipo de sistema de propulsão escolhido. Nesta característica, na região de baixa velocidade o torque é constante, e a partir da velocidade base a potência se torna constante. Na região de baixa velocidade, a tensão aplicada ao motor aumenta com a mesma.

A partir da velocidade base, o sistema de controle para aumentar a velocidade utiliza como recurso o enfraquecimento do fluxo magnético produzido no motor. Na faixa de velocidade baixa, este fluxo é mantido constante. No ponto de mudança assinalado, a tensão aplicada no motor atinge o seu valor pleno e daí por diante se mantém constante.

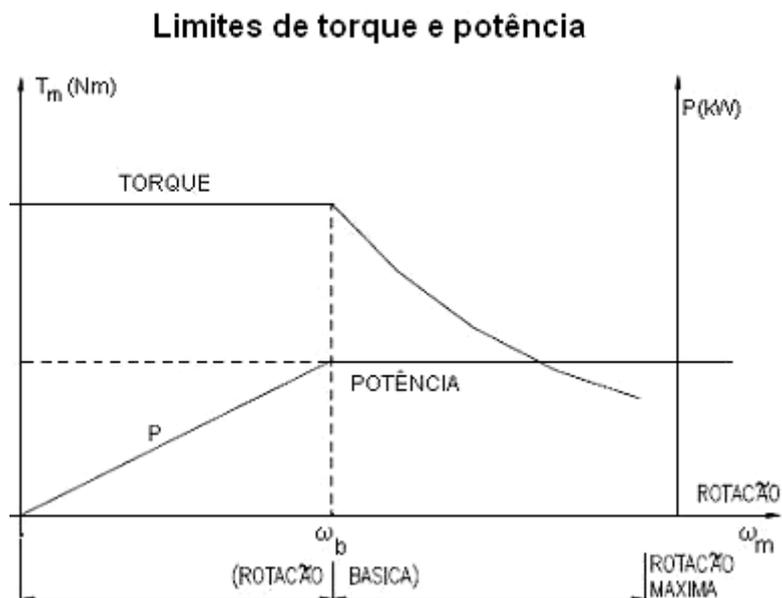


Figura 18 - Envoltória de desempenho do veículo (primeiro quadrante $T_m > 0$ e $\omega_m > 0$)

Uma forma simplificada de resumir estas considerações pode ser observada através da equação (2.19).

$$T_m = K_m \Phi_m I_m, \quad (2.19)$$

onde:

T_m - Torque do motor;

K_m - Constante do motor;

I_m - Corrente elétrica do motor;

Φ_m - Fluxo magnético do motor;

ω_b - Velocidade de rotação básica do motor

Para $\omega_m \leq \omega_b$

$T_m \rightarrow$ Constante

$\Phi_m \rightarrow$ Constante

Tensão aplicada ao motor \rightarrow varia de 0 ao valor pleno

$P_M \rightarrow$ Aumenta com a tensão aplicada ao motor

Para $\omega_m > \omega_b$

$P_M \rightarrow$ Constante

$\Phi_m \rightarrow$ Enfraquecimento do fluxo magnético

Tensão \rightarrow Mantida constante

$T_m \rightarrow$ Decresce de forma hiperbólica

O par ordenado (T_m, ω_m) durante o funcionamento do veículo elétrico estará contido na envoltória assinalada.

A estratégia de controle apresentada é típica para os motores CC. Nos motores CA, atualmente, o tratamento é elaborado em termos do que a literatura técnica denomina de controle vetorial, que utiliza processadores tais que as variáveis de interesse possam ser manipuladas de forma não acoplada, conforme a

transformação na qual ficam referenciadas aos eixos magnéticos direto e em quadratura (CHAN, 1997)

Os progressos da eletrônica de potência aplicada aos sistemas de controle permitem condicionar diversos tipos de motores elétricos cujo comportamento natural não apresentam esta característica. O motor que apresenta a característica torque-velocidade mais próxima daquela apresentada na Figura 18 é o motor série de corrente contínua, que nem sempre, por diversos motivos, é o mais adequado.

Para completar estas ideias, é comum estabelecer uma relação entre a máxima velocidade e a velocidade base, que corresponde, em princípio, para cada tipo de motor, à velocidade mais apropriada para passar do funcionamento do torque constante para potência constante, definindo a filosofia de controle. Conseqüentemente, se for possível uma característica com um trecho longo de potência constante, o torque máximo pode ser consideravelmente aumentado, o que permite melhor aceleração e desempenho em acíves.

Um ponto importante do sistema de propulsão veicular está relacionado com a força de tração e a velocidade desenvolvida. As expressões gerais destas grandezas podem ser expressas pelas equações (2.20) e (2.21).

$$F_T = \frac{T_m \cdot R_{Tg} \cdot R_{T0} \cdot n_T}{r}, \quad (2.20)$$

$$v(t) = \frac{\pi \cdot V_M \cdot n_T \cdot r}{30 \cdot R_{Tg} \cdot R_{T0}}, \quad (2.21)$$

onde:

T_m – Torque do motor (Nm)

V_M – Velocidade de rotação do motor expressa em RPM

R_{Tg} - Relação de engrenagem da transmissão

R_{T0} - Relação de engrenagem do diferencial

r – Raio da roda (m)

Obs: Para estabelecimento da velocidade máxima do veículo, considera-se a velocidade máxima do motor.

A evolução atual dos veículos elétricos fez com que tanto os motores quanto os sistemas de controle sejam projetados de forma específica. Tratando-se de uma conversão utilizando-se componentes do mercado nacional, recai-se na utilização de sistemas projetados para o ambiente industrial. Portanto, ao se planejar as mudanças para tração elétrica nestas condições, há ganhos em custos, como também sobrevida da frota de veículos que muitas vezes estão desativados. Em contrapartida, o desempenho é limitado pelos fatores apresentados, já que, ao se projetar esses dispositivos para a área industrial, tanto o peso quanto o volume não são preocupações primordiais.

A seguir, será apresentada uma discussão a respeito dos sistemas de propulsão de veículos elétricos no que tange aos motores, aos sistemas de controle e às baterias. Esta parte que se segue considerou também como referência Chan (CHAN; 1997).

Os motores de veículos elétricos muitas vezes são considerados parecidos ou similares aos motores elétricos industriais. Porém, os motores dos veículos elétricos requerem partidas e paradas frequentes, acelerações e desacelerações, altos torques em baixa velocidade e em acive, baixos torques em alta velocidade e de cruzeiro, ou seja, uma gama muito ampla de condições aleatórias de operação que procuram ser representadas por ciclos de testes padrão que muitas vezes não são representativos das condições reais de operação. Os motores industriais são, geralmente, utilizados para atender condições mais simples, o que acaba conduzindo a diversas diferenças, que se encontram resumidas abaixo:

- Os motores de VEs necessitam alcançar de quatro a cinco vezes a velocidade base ω_b em estradas, enquanto os motores industriais trabalham com duas vezes a velocidade base, suficiente para o trabalho com potência constante.

- Os motores de VEs necessitam oferecer torques diferentes em quatro ou cinco momentos durante as acelerações em acive, enquanto os motores industriais normalmente necessitam apenas de dois torques diferentes nos momentos de aceleração em carga.

- Os motores de VEs necessitam de quatro ou cinco tempos básicos para alcançar a velocidade de cruzeiro em estradas, enquanto os motores industriais alcançam até o dobro da velocidade básica para operar com potência constante.

– Os motores de VEs são projetados para operar de acordo com perfis de condução e hábitos dos motoristas; o motor industrial é usado habitualmente em modos de trabalhos rígidos.

– Os motores de VEs demandam alta densidade de potência em função da necessidade de redução de peso, exigindo também eficiência em função dos longos percursos. No motor industrial, por operar de forma estacionária, a densidade de potência não é preponderante e a necessidade de eficiência está relacionada à redução de custos.

– Os motores de VEs requerem um alto nível de controle, estabilidade no funcionamento, exatidão e uma boa performance dinâmica, principalmente quando utilizados dois motores. Os motores industriais, por operarem pontualmente, não exigem, em geral, todas estas características.

– Os motores de VEs, por funcionarem embarcados, atuam em condições adversas, sofrendo frequentemente vibrações decorrentes das estradas e funcionam normalmente com variações de temperatura acentuada. Os motores industriais, por serem estacionários, são instalados em ambientes estáveis.

Além das diversas exigências gerais requeridas para o motor do EV, outras características relacionadas à arquitetura do motor são fundamentais, o que depende do tipo de veículo que se pretende construir. Os veículos elétricos podem ser projetados com várias configurações no que diz respeito ao seu sistema de tração. Eles podem ter motor elétrico acoplado a uma transmissão e diferencial. Também podem ter dois motores elétricos e dois conjuntos de transmissão e diferencial. O sistema de tração pode ainda ser projetado para que haja o motor direto nas rodas; neste caso, em algumas situações, poderá haver transmissão com engrenagens ou não. É importante lembrar que para cada configuração da propulsão elétrica veicular haverá diferenças em relação aos motores e seus sistemas de controle.

O desenvolvimento dos motores elétricos se deve principalmente aos grandes avanços na área de materiais magnéticos, devido aos ímãs utilizados nestes motores e dos circuitos eletrônicos responsáveis pelo seu acionamento. Além disto, a evolução de programas computacionais, permitindo a completa modelagem e

reduzindo o custo de protótipos, viabiliza a construção de motores de alto rendimento adequados para aplicação em veículos elétricos.

O diagrama da Figura 19 apresenta, de forma simplificada, os motores utilizados em veículos elétricos e que podem ser classificados em dois grandes grupos: os que possuem e os que não possuem comutadores.

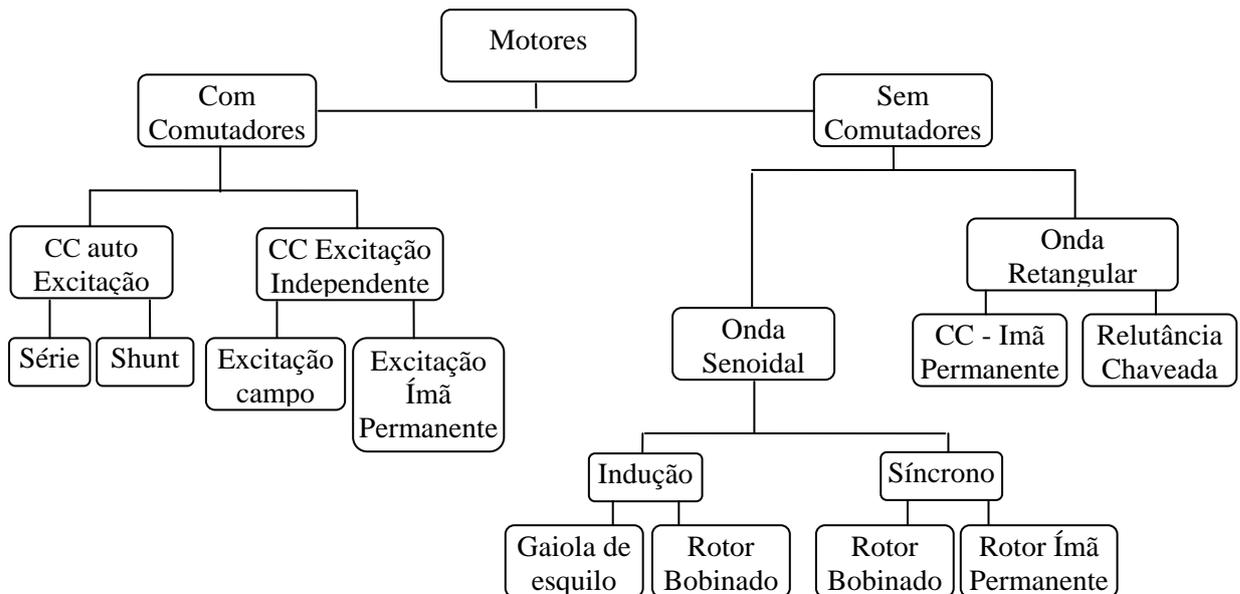


Figura 19: Classificação típica dos motores elétricos para propulsão EV

A tendência atual mostra que veículos de pequeno porte, não rodoviários, utilizam motores com comutadores e baterias chumbo-ácidas, visto que as velocidades de funcionamento são baixas, permitindo um projeto satisfatório inclusive quanto à autonomia. Para veículos de maior porte, a tendência recente é empregar motores sem comutadores, como os motores de indução com baterias avançadas.

Vários tipos de motores CC, excitação série, excitação independente e excitação a ímã permanente têm sido amplamente aplicados em diversos veículos elétricos de pequeno porte e empilhadeiras.

Os motores de indução, por serem muito utilizados e em consequência propiciarem um elevado volume de produção, têm um custo competitivo com os seus homólogos de CC. Assim, os motores de indução CA se tornam atrativos, porém, os motores de indução com controles convencionais, tais como aqueles com tensão-

variável e frequência-variável, não oferecem a performance desejada aos VEs. Uma das principais razões é a não linearidade deste modelo dinâmico. Com o advento da era dos microcontroladores, os motores de indução se tornam viáveis através do controle vetorial exercido pelos inversores.

Substituindo-se o enrolamento do induzido por ímãs permanentes de alta capacidade, os motores síncronos podem eliminar escovas convencionais, anéis-deslizantes e perdas nas bobinas de cobre. Um número de topologias de motores com alta densidade e alta eficiência recentemente tem sido desenvolvido. Como são essencialmente motores CA síncronos tradicionais com enrolamento senoidal-distribuído, podem ser controlados através da modulação de largura de pulso conhecida na literatura técnica como PWM (Pulse Width Modulation), de forma semelhante aos motores de indução. A mais óbvia vantagem destes motores é a remoção das escovas, além de produzir um grande torque.

A Tabela 12 adaptada de Chau (CHAU; WANG, 2005) apresenta um quadro comparativo relacionado à tecnologia de motores para veículos elétricos.

Tabela 12 - Quadro comparativo entre os motores utilizados para veículos elétricos

Elementos de comparação	Motor CC	Motor de indução	Motor a ímã permanente sem escovas	Motor a relutância	Motor a ímã permanente híbrido
Densidade de potência	2	3	5	3	4
Eficiência	2	3	5	3	5
Controlabilidade	5	3	4	3	5
Confiabilidade	3	5	4	5	4
Maturidade	5	5	4	3	2
Custo	4	5	2	4	2
Total	20	24	24	21	22

Na tabela, foi atribuída, pelo autor, uma graduação em pontos de zero a 5, que consiste, em ordem de valores, em comparar as seis principais características dos motores aplicados em veículos elétricos. A Tabela 2.4 indica a evolução dos motores de indução que são aceitáveis. Em relação a custo e maturidade, os motores de ímãs permanentes sem escovas, incluindo motores CA ou CC, necessitam de melhorias significativas, no entanto, se tornam atrativos se forem consideradas as demais características. Os motores convencionais, de CC,

perderam a sua competitividade em relação aos motores a relutância e aos motores de ímãs permanentes híbridos. Em função do custo e da disponibilidade no Brasil, os motores de indução se mostram interessantes para conversão.

Deve-se observar que nas últimas décadas a tecnologia dos componentes eletrônicos de potência alcançou imensos progressos em termos de desempenho. Entre os dispositivos existentes destacam-se os abaixo relacionados:

- GTO (Gate Turn-of Thyristor);
- BJT (Bipolar-Junction transistor);
- MOSFET (Metal-Oxide Field-Effect Transistor);
- IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor);
- SIT (Static-Induction Transistor);
- SITH (Static-Induction Thyristor);
- MCT (MOS-Controlled Thyristor).

Todos estes dispositivos semicondutores são extremamente controláveis. Os requisitos básicos exigidos destes dispositivos para aplicação na propulsão elétrica veicular são os seguintes:

- características de funcionamento: tensão, corrente e potência. Em relação à tensão, deve-se levar em conta a tensão nominal e a tensão máxima de recarga das baterias, e a tensão fornecida durante a frenagem regenerativa. Quanto à corrente que o componente deve suportar, dependerá da potência máxima de pico do motor, como também dos dispositivos ligados em paralelo com o mesmo;
- frequência de comutação: a comutação a altas frequências cria interferências eletromagnéticas e ruídos que podem afetar o funcionamento de outros dispositivos do veículo, portanto, estas altas frequências devem ser limitadas por filtros que ajudem a reduzi-las;
- robustez: por serem submetidos a variações de tensão e sobrecarga, em função das acelerações, desacelerações e subidas, estes dispositivos necessitam de uma estrutura adequada para suportar tais condições de funcionamento;
- custo e confiabilidade: o custo dos dispositivos de eletrônica de potência tem um peso significativo em relação ao conjunto do sistema de propulsão

elétrica. Portanto, ao projetar um sistema de controle, buscam-se dispositivos com alta confiabilidade e baixo custo.

Nos modernos veículos elétricos, o IGBT é bastante utilizado. Todavia, o MOSFET tem sido igualmente aceito para bicicletas e motos elétricas que operam com baixa tensão e baixa potência.

A evolução das topologias dos inversores de potência se deve principalmente ao avanço dos componentes eletrônicos de potência que se desenvolveram, atingindo, atualmente, elevada densidade de potência, alta eficiência e alta controlabilidade. Os critérios de seleção das unidades motoras para os VEs (incluindo os motores e seus conversores de energia) podem ser divididos em dois requisitos: os essenciais, sem os quais o projeto do veículo não se viabiliza, e os desejáveis. Os essenciais são aqueles que o motor do veículo pode oferecer; o primeiro é a relação torque-velocidade, que é determinada pelo perfil de operação do VE, e o segundo é a capacidade de fluxo de potência bidirecional para recuperar a energia de frenagem regenerativa. Em geral, motores de CC ou CA podem oferecer uma boa relação torque-velocidade. As exigências na unidade motora dos VEs são: baixo custo, alta eficiência, alta densidade de potência, controlabilidade e livre de manutenção. Estes requisitos, para serem obtidos, dependem da adequação dos diversos dispositivos que fazem parte do sistema de propulsão.

2.4 Gestão inteligente de energia

O controle e o monitoramento do consumo de energia são determinantes para que o VE atinja o desempenho desejável. Para isto, o sistema de gerenciamento de energia utiliza sensores que estabelecem os perfis padronizados de funcionamento e condução do veículo. São capazes de controlar:

- o consumo de energia em todos os subsistemas;
- a indicação da eficiência do uso da energia;
- o comportamento de condução do veículo;
- o controle de energia regenerativa a partir da frenagem;

- a melhor forma de recarga, baseando-se no estado de carga e ciclo de vida histórico da bateria.

Quando este sistema é associado a um módulo de navegação, é possível planejar rotas energeticamente eficientes, obtendo facilidades para viagens, com base em previsões de tráfego e condições meteorológicas. A Figura 20 apresenta um quadro geral das funções de um sistema de gerenciamento do veículo elétrico, adaptado de Chan (CHAN, 1997).

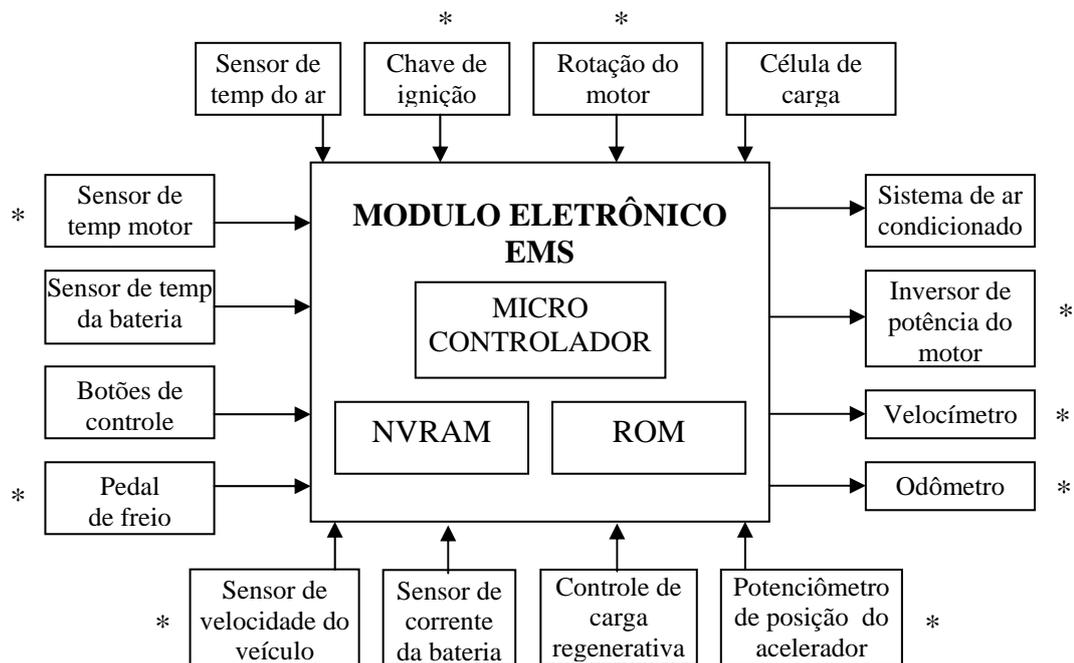


Figura 20 - EMS conjugado com um sistema de navegação elétrico

Obs: NVRAM é a sigla para Non-volatile random access memory (Memória de acesso aleatório não-volátil); ROM é a sigla para Read Only Memory (memória somente de leitura). (*) Dispositivos utilizados na Kombi.

Devido à disponibilidade da frenagem regenerativa, o fluxo de potência é parcialmente reversível. Dependendo da estratégia de controle do motor, comando do condutor e dos dados obtidos a partir do sistema eletrônico de controle, o controlador eletrônico fornece os sinais adequados ao conversor de potência. Estes sinais são amplificados por meio de um circuito; assim, o conversor de potência regula o fluxo de potência entre as baterias e o motor durante a frenagem regenerativa do automóvel. A interface do motor com as rodas do veículo ocorre através dos dispositivos de transmissão. A utilização de mais de um motor,

geralmente dois ou quatro, também tem sido empregada para Propulsão dos VEs. A principal diferença entre estas duas configurações é que quando se utiliza um único motor, é necessário um sistema de transmissão e diferencial, enquanto, nas configurações com múltiplos motores, estes são eliminados e realizados eletronicamente. Como indicado na Tabela 2.1, o GM Impact 4, BMW E1/E2 e U2001 empregam a configuração de um único motor, enquanto a Nissan FEV adota a configuração de motor duplo.

2.5 Baterias para os veículos elétricos

O desenvolvimento da tecnologia das baterias tem sido acelerado; um conjunto de critérios deve ser considerado:

- energia específica;
- potência específica;
- eficiência de energia;
- taxa de carga;
- ciclo de vida;
- ambiente operacional;
- custo;
- segurança e reciclagem.

Deve-se chamar a atenção para a distinção entre baterias automotivas estacionárias e tracionárias. Somente estas últimas podem ser empregadas convenientemente em tração elétrica.

Até o presente momento, a mais evoluída e utilizada tecnologia de baterias para VEs tem sido chumbo-ácido (Pb-Acid). Entre as várias tecnologias de baterias avançadas, destacam-se as baterias à base de níquel, como Níquel-Ferro (Ni-Fe) e hidreto de níquel metálico (Ni-MH), que demonstram ser interessantes. Por outro lado, baterias de Zinco-Halogênio, assim como Zinco-Bromo (Zn-Br), são também atrativas. A bateria à base de cloreto de sódio níquel ou (ZEBRA) as baterias lítio-ion estão entre as mais cogitadas, atualmente, para emprego nos veículos elétricos. A Tabela 13, elaborada a partir de dados de Larminie (LARMINIE, 2003), apresenta comparação entre algumas baterias recentemente disponíveis comercialmente utilizadas em veículos elétricos.

Tabela 13: Comparação de baterias utilizadas em veículos elétricos

QUADRO AUXILIAR DE ESCOLHA DO BANCO DE BATERIAS					
CARACTERÍSTICAS	TIPOS DE BATERIA				
	Pb-Ácido	Ni-MH	ZEBRA	Lítio-ion	Zinco-ar
Energia específica (Wh/kg)	20 a 35 dependendo do uso	~ 65 dependendo da potência	100	90	230
Densidade de energia (Wh/L)	54 a 95	150	150	153	270
Potência específica (W/kg)	~ 250	200	150	300	105
Tensão nominal por célula (V)	2 V	1,2 V	~ 2 V	3,5 V	1,2 V
Eficiência em Ah	~ 80% varia característica de descarga e temperatura	Boa	Muito boa	Muito boa	Não aplicado
Resistência interna (Ω para 1 Ah por célula)	0,022	0,06	Muito baixa, Superior a baixo nível de carga	Muito baixa	Media
Viabilidade comercial	Fácil, muitos fabricantes	Para tração é difícil de se obter	Disponível comercialmente, mas muito poucos fornecedores	Disponível apenas pequenas baterias	Muito poucos fornecedores
Temperatura de operação	Ambiente, baixa eficiência em baixas temperaturas	Ambiente	300 a 350°C	Ambiente	Ambiente
Autodescarga	~ 2% por dia	5% por dia	10% por dia	~ 10% por mês	Elevada
Número de ciclos de vida	800 para 80% de descarga	~1000 para 80% de descarga	>1000	>1000	> 2000
Tempo de recarga	8 h (com 90% de carga 1 h)	1 h (com 60% de carga 20 min)	8 h	2 a 3 h	10 minutos, substituições dos elementos
Custo (unidade arbitrária)	0,5	2,0	2,0	10	?

Na Tabela 2.5, para a comparação das baterias disponíveis comercialmente, foi atribuída ao custo, para fins comparativos, uma unidade arbitrária, de forma a se dispor de uma comparação relativa preliminar (LARMINIE, 2003).

As baterias que se encontram atualmente disponíveis comercialmente para utilização em veículos elétricos incluem: chumbo-ácido, níquel cádmio, hidreto de níquel metálico, cloreto de sódio níquel ZEBRA e lítio-íon. Das baterias mencionadas, a de lítio-íon, atualmente, pode ser utilizada quando se busca um alto desempenho e o custo não é o critério principal. A escolha das baterias disponíveis se restringe a chumbo-ácido, hidreto de níquel metálico e cloreto de sódio níquel. No entanto, para alguns veículos, a escolha do modelo da bateria é determinante para se definir algumas de suas características, como tamanho e desempenho.

A bateria de chumbo-ácido, por possuir baixo custo em relação às demais, é adequada para ser utilizada em veículos que não exijam grandes quantidades de energia armazenada e que realizam pequenos percursos, tomando-se o cuidado para que as baterias possam ser recarregadas no final de uma jornada de funcionamento. Explica-se esta situação com os carros não rodoviários, para os quais a melhor opção é certamente a bateria de chumbo-ácido, pois esta tem maturidade consolidada, é fácil de ser obtida e possui menor custo por kWh.

A bateria de hidreto níquel metálico é uma boa escolha onde é exigido bom desempenho em longos percursos. Estas baterias também apresentam a vantagem de serem recarregadas rapidamente. Para as utilizações em condições que possibilitem recargas frequentes, isto pode resultar em baterias menores, e, conseqüentemente, de menor custo. A Figura 21 mostra uma bateria comercial (ZEBRA), utilizada em veículos elétricos.



Figura 21 - Bateria comercial (ZEBRA) utilizada em veículos elétricos

Fonte: <http://www.cebi.com>

As baterias cloreto de sódio níquel (ZEBRA) não são utilizadas em tamanhos pequenos, porque as perdas são proporcionalmente grandes. A bateria ZEBRA possui muitas características similares à de hidreto de níquel metálico, mas com maior densidade de energia. No entanto, o fato de precisar ser mantida aquecida e possuir um elevado nível de autodescarga torna sua utilização inviável em alguns tipos de veículos, como, por exemplo, os que tenham de permanecer um longo tempo estacionados. Apesar disto, estas baterias têm sido muito utilizadas em diversos tipos de veículos, principalmente os eletrificados.

3 METODOLOGIA DE CONVERSÃO APLICADA NA KOMBI EQUIPADA COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA TRAÇÃO ELÉTRICA

Conforme exposto na introdução deste trabalho, o veículo a ser convertido foi previamente definido, tendo em vista a disponibilidade de uma Kombi desativada no CEFET-RJ. Este é um aspecto circunstancial dos projetos de conversão realizados, uma vez que, no intuito de torná-los viáveis, nem sempre é possível a escolha da carroceria mais apropriada. Esta característica é importante em relação ao aspecto de reciclagem de materiais desses veículos e se alinha com o desenvolvimento sustentável. Através de iniciativas do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos – GRUVE/UERJ, foi possível o patrocínio da WEG Automação quanto ao motor, controlador e acessórios; quanto às baterias, este patrocínio provém da Saturna, que possibilitou a realização do projeto em pauta.

3.1 Considerações técnicas

Como critérios de projeto, ficou estabelecido que a Kombi deve ser capaz de sair do Núcleo Tecnológico Automobilístico do NTA – UNED Maria da Graça do CEFET-RJ, Rua Miguel Ângelo, 96, Maria da Graça e ir à UERJ (Unidade Maracanã, Rua São Francisco Xavier, 524). Outros trechos poderão ser considerados, como, por exemplo, se dirigir ao CEFET-RJ (Unidade Maracanã, Rua General Canabarro, 485, Maracanã) e em seguida se dirigir ao CEPER (Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis), onde fica localizado o LSPV (Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas), na rua Fonseca Teles, 121 (São Cristóvão), posteriormente retornar ao NTA do CEFET-RJ, em Maria da Graça, totalizando cerca de 17 km. Esta consideração se deve ao fato de que o trajeto, apesar de ser curto, apresenta diversos aclives com inclinações consideráveis. Como se trata de trecho urbano, considerou-se uma velocidade média de 50 km/h.

- Em termos de energia, o dimensionamento do banco de baterias deverá supor uma autonomia mínima com uma margem de segurança de 20% em

relação ao trajeto pretendido, que corresponde ao trecho do CEFET-RJ (Maria da Graça) à UERJ (Maracanã), aproximadamente 5 km;

- Os cálculos preliminares assumiram a tensão do banco de baterias e o valor de 1m/s^2 nos trechos de aceleração diferentes de zero como constante. Além disso, a relação total entre a velocidade do motor elétrico e a roda do veículo foi adotada igual à relação de transmissão, tomando como referência a velocidade nominal do motor igual a 2.600 RPM, correspondente a 70 km/h, isto é, 560 RPM na roda e considerando o seu diâmetro igual a 663 mm. Esta relação é praticamente a que se consegue fixando-se a relação de transmissão da Kombi na quarta marcha (1:0,88) e levando em conta a relação do diferencial (1:5,143). Por ser esta a relação de menor amplificação de torque, possibilita verificar nos cálculos que se procedidos da necessidade de se manter a caixa de câmbio original;
- Na análise inicial, foi considerada a frenagem puramente mecânica, e, portanto, são levados em conta apenas os trechos de aceleração e cruzeiro para efeito de cálculo de energia despendida no banco de baterias. Para a frenagem, supôs-se a necessidade de uma bomba de vácuo cujo consumo de energia foi também suposto de pouca influência.
- As características técnicas da Kombi original, de ano modelo 1982, foram levantadas, bem como o trajeto a ser realizado, constando as distâncias dos trechos entre semáforos e as respectivas inclinações angulares de cada trecho.

3.2 Classificações, definições e características relacionadas aos veículos terrestres

3.2.1 Classificações

Para efeito de classificações, conforme as normas vigentes, fez-se importante classificar o veículo a ser convertido. Sendo assim, veículos terrestres são aqueles que trafegam em vias deste tipo, de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB): são as vias urbanas e rurais, isto é, ruas, avenidas, logradouros, caminhos,

passagens, estradas e rodovias. Esse mesmo Código classifica os veículos terrestres da forma mostrada na Tabela 14.

Tabela 14 - Classificação dos veículos terrestres segundo o CTB

Em relação à tração	Em relação à espécie	Em relação à categoria
a) automotor b) elétrico c) de propulsão humana d) de tração animal e) reboque ou semi-reboque	a) de passageiros b) de carga c) misto d) de competição e) de tração f) especial g) de coleção	a) oficial b) de representação diplomática, de repartições consulares de carreira ou organismos internacionais acreditados junto ao governo brasileiro c) particular d) de aluguel e) de aprendizagem

As definições a serem consideradas para caracterização são:

- Automóvel – Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor.
- Peso Bruto Total – Peso máximo que o veículo transmite ao pavimento, constituído da soma da tara mais a lotação.
- Tara – Peso próprio do veículo, acrescido dos pesos da carroçaria e equipamento, do combustível, das ferramentas e acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento, expresso em quilogramas.
- Veículo automotor – Todo veículo a motor de propulsão que circule por seus próprios meios, e que serve normalmente para o transporte viário de pessoas e coisas, ou para a tração viária de veículos utilizados para o transporte de pessoas e coisas. O termo compreende os veículos conectados a uma linha elétrica e que não circulam sobre trilhos (ônibus elétrico).

Obs: esta definição deverá ser objeto de modificações visto estar desatualizada.

- Veículo de carga – Veículo destinado ao transporte de carga, podendo transportar dois passageiros, exclusive o condutor.
- Veículo de coleção – Aquele que, mesmo tendo sido fabricado há mais de trinta anos, conserva suas características originais de fabricação e possui valor histórico próprio.

- Veículo conjugado – Combinação de veículos, sendo o primeiro um veículo automotor e os demais reboques ou equipamentos de trabalho agrícola, construção, terraplenagem ou pavimentação.
- Veículo de grande porte – Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com peso bruto total máximo superior a dez mil quilogramas, e de passageiros, superior a vinte passageiros.
- Veículo de passageiros – Veículo destinado ao transporte de pessoas e suas bagagens.
- Veículo misto – Veículo automotor destinado ao transporte simultâneo de carga e passageiro.

No que tange aos aspectos de direção, aceleração e vibrações, as definições do CTB são:

- Dirigibilidade – É a resposta aos comandos dados pelo condutor do veículo, relativa à dinâmica transversal do veículo.
- Desempenho – Capacidade do veículo em acelerar e desacelerar relativa à dinâmica longitudinal.
- Deslocamento vertical – São as respostas do veículo às vibrações existentes no solo, sendo relacionadas com a dinâmica vertical do veículo.

Com isto, a Kombi pode ser classificada como um veículo misto.

3.3 Dados Originais da Kombi

Para execução do trabalho de conversão, foram levantados alguns dados referentes às características técnicas originais do veículo, marca Volkswagen, modelo Kombi, Ano 1982, cor branca:

Carroceria:

2.400 mm de distância entre eixos;

4.397 mm de comprimento;

1.746 mm de largura;

1.912 mm de altura.

Compartimento de carga:

Comprimento: 1.855 mm;

Largura: 1.535 mm;

Altura: 1.400 mm.

Pesos:

Líquido: 1.080 kg;

Carga útil: 1.075 kg;

Peso PBT dianteiro: 980kg;

Peso PBT traseiro: 1.210 kg.

Motor original:

Motor de combustão interna;

Refrigerado a ar, marca VW;

Álcool, cilindrada 1.6 cm³;

Potência máxima: 60 cv (44 Kw) a 4.600 RPM;

Torque máximo: 118 Nm;

Índice de CO: 2,5 a 3,5 %;

Reservatório de combustível: 47 litros.

Relação de transmissão:

1ª marcha (1: 3,80);

2ª marcha (1: 2,06);

3ª marcha (1: 1,32);

4ª marcha (1: 0,88);

Ré (1: 3,88); Diferencial: (1: 5,143).

Pneu: (7.35 / 14 / CC), largura de 186 mm; diâmetro externo de 663 mm.

Direção: Giro do volante, batente a batente 3,5 voltas, diâmetro de curva 12 m;

Coefficiente de resistência aerodinâmica: 0,43 (C_D).

3.4 Percurso definido para o projeto

Para determinação dos dispositivos e componentes necessários para conversão da Kombi, principalmente no que diz respeito à potência do motor elétrico e o consumo de energia, foi preciso saber em detalhes qual o trajeto que este veículo se propõe a percorrer. Deve-se levar em conta a distância que o veículo percorrerá, os momentos de parada em lombadas e sinais de trânsito, como também os aclives e declives, e até mesmo as curvas que durante o trajeto existirem. Com o

objetivo de determinar estes detalhes do trajeto, foi utilizado um goniômetro, indicado na Figura 22, adaptado a um veículo para a medição dos ângulos de inclinação. O hodômetro do veículo foi utilizado para a obtenção das distâncias percorridas.



Figura 22 - Dispositivo adaptado para medição de inclinações

Os percursos estabelecidos para os testes a serem realizados, citados no item 3.1, totalizam aproximadamente 17 km, e supõem uma margem de segurança de 20% em relação ao trajeto pretendido. A Tabela 15 resume as distâncias, os aclives, declives, sinais de trânsito e as lombadas.

Tabela 15 - Trechos percorridos e distância total do trajeto

Trechos do trajeto	Distância percorrida (m)	Nº de aclives (Graus +)	Nº de declives (Graus -)	Nº de sinais de trânsito	Nº de lombadas
CEFET-RJ (UNED Maria da Graça) UERJ (Maracanã)	4.791	10	6	7	2
UERJ (Maracanã) CEFET-RJ (Maracanã)	3.300	1	2	6	0
CEFET-RJ (Maracanã) UERJ (São Cristóvão)	1.480	7	2	5	0
UERJ (São Cristóvão) CEFET-RJ (UNED Maria da Graça)	7.175	9	8	24	2
TOTAL	16.746	27	18	42	4

3.5 Considerações sobre a realização dos cálculos e adaptação da Kombi

Para melhor entendimento, as normas técnicas fazem uso de um sistema de coordenadas fixo ao centro de gravidade do veículo. As normas mais empregadas são a SAE J670 (EUA), ISO 4130 e DIN 70000 (alemã). As normas ISO 4130 e DIN 70000 diferem da norma SAE J670 porque o eixo z é direcionado para cima. Estes sistemas de coordenadas estão demonstrados nas Figuras 23 e 24.

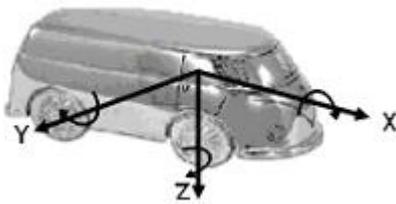


Figura 23 - Sistema de coordenadas SAE J 670, americano

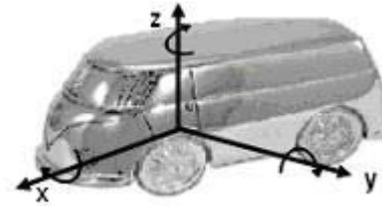


Figura 24 - Sistema de coordenadas ISO 4130 e DIN 70000, europeu.

De acordo com as figuras apresentadas acima, pode-se modelar um veículo ao longo dos eixos X, Y e Z. A Tabela 16 abaixo demonstra de forma simplificada as ações e reações que ocorrem nos eixos quando um veículo está em movimento.

Tabela 16 - Movimentos dinâmicos do veículo

Eixo	Movimento	Ações Externas	Reação do Veículo
X	Longitudinal	Aceleração e desaceleração	Translação e oscilação ao longo do eixo x
		Realização de uma curva	Efeito de rolagem que é rotação ao redor do eixo x (plano yz)
Y	Transversal	Realização de uma curva	Translação e oscilação ao longo do eixo y quando o veículo sai de frente ou de traseira (derrapagem)
		Aceleração e desaceleração	Efeito de arfagem que é a rotação ao redor do eixo y (plano xz)
Z	Vertical	Oscilações do terreno	Efeito de cavalgada ou salto, que é a oscilação ao longo do eixo z quando o veículo passa por uma oscilação do terreno
		Realização de uma curva	Efeito de guinada que é a rotação ao redor z (plano xy) quando o veículo sai de frente ou de traseira (derrapagem)

Considerando que, para a conversão, as análises efetuadas estão relacionadas à propulsão do veículo a partir do seu eixo longitudinal, as equações 2.1 a 2.15 podem ser utilizadas levando-se em conta os parâmetros fundamentais, as potências, a aceleração, o coeficiente de resistência ao rolamento, o ângulo de inclinação, a velocidade nas rodas e o torque. Com isto é possível determinar as características principais dos novos dispositivos do sistema de propulsão.

Conforme Pecorelli (PECORELLI PERES; COSTA;..., 2007), para a propulsão elétrica da Kombi tomaram-se como referência as especificações técnicas do fabricante do veículo, sendo retirados: o motor de combustão interna com todos os seus componentes, tanque de combustível e acessórios de escapamento.

A configuração do novo sistema de propulsão leva em conta, principalmente, a massa do veículo com os novos dispositivos adaptados, a energia necessária para vencer a inércia, a resistência ao rolamento, a resistência aerodinâmica e o deslocamento em aclone.

Após a realização dos cálculos relacionados à potência e torque necessários para movimentação do veículo, verificou-se a necessidade de manutenção do sistema de transmissão original, conforme demonstrado nas simulações a seguir.

Vale lembrar que o trabalho de conversão aqui descrito não se deu com um veículo escolhido previamente, e sim um veículo que estava disponível. Em relação aos dispositivos utilizados, buscou-se aplicar aqueles mais adequados e levando em conta as disponibilidades no momento do planejamento e execução. Esta circunstância retira alguns graus de liberdade deste tipo de projeto, tornando necessárias determinadas adaptações que apresentam desafios à criatividade.

Para início dos cálculos, levou-se em conta o peso total bruto do veículo, já que o trabalho em pauta não se propõe realizar modificações de vulto na estrutura da carroçaria do veículo. Assim, para esta fase do trabalho, consideraram-se, inicialmente, aqueles dispositivos que possuem peso e dimensões significativas.

3.6 Dados dos componentes principais para o sistema de propulsão

Motor Elétrico

Motor de ímã permanente (especial) Alto Rendimento Plus da WEG, trifásico, 60Hz, 220V.

Potência: 22 KW (30 CV)

Rotação nominal: 2.600 RPM; faixa de rotação: 260 a 2.600 RPM

Corrente nominal: 72 A

Torque nominal: 80,8 Nm

Torque máximo: 150 Nm por 20s

Massa aproximada: 220 kg

A Figura 25 apresenta o motor síncrono a ímã permanente sendo preparado para adaptação na Kombi.



Figura 25 - Motor de ímã permanente (especial) Alto Rendimento Plus da WEG

Síncronos a Ímãs Permanentes (Brushless AC)

Os motores síncronos a ímãs permanentes, quando controlados por inversor de frequência, podem ser utilizados em sistemas onde são requeridos variação de velocidade com torque constante e alto desempenho. Também são usados em aplicações onde torque suave, baixos níveis de vibração e ruído são fundamentais. Além disso, são atrativos para aplicações em espaço reduzido, possuem tamanho e volume reduzidos, se comparados ao motor de indução, e podem funcionar em uma ampla faixa de velocidades. Por sua vez, são projetados para que a tensão e a corrente de alimentação sejam senoidais, resultando em um torque suave, conforme Figura 26.

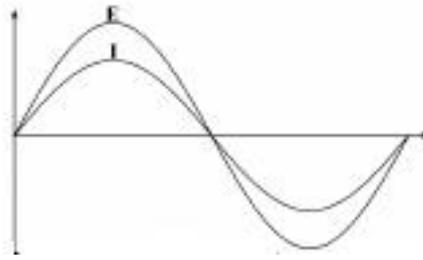


Figura 26 - Formas de onda da tensão e da corrente de alimentação

Fonte: Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG, Departamento de P&D do Produto – Motores – WEG Equipamentos Elétricos S.A.

O controle do acionamento senoidal é mais complexo, pois são necessários sensores de corrente em cada fase e um sensor de posição de alta resolução para manter a sincronização precisa da forma de onda da corrente com a posição angular do rotor em cada instante de tempo.

O motor pode ser projetado com ímãs superficiais ou ímãs internos no rotor. O motor com ímãs superficiais também é conhecido como motor de pólos lisos, apresentado na Figura 27 (a). O motor de ímãs internos ou pólos salientes possui ímãs montados internamente no rotor, conforme a Figura 27 (b).

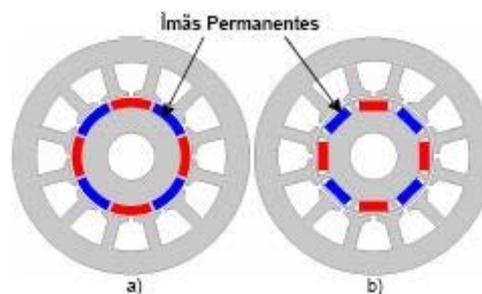


Figura 27 - Motor com ímãs superficiais (a) ou ímãs internos (b) no rotor.

Fonte: Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG, Departamento de P&D do Produto – Motores – WEG Equipamentos Elétricos S.A.

Em virtude desta saliência, é produzido um torque de relutância que, somado ao torque eletromagnético devido aos ímãs, produz um torque resultante maior. Os motores de ímãs internos são capazes de operar em uma grande faixa de velocidades acima da nominal, com potência constante, conforme Figura 28 (B). Já o motor com ímãs superficiais apresenta uma limitada capacidade de operar em velocidades acima da nominal, com potência constante, devido à baixa indutância resultante do grande entreferro. As Figuras 28 (A) e 28 (B) apresentam,

respectivamente, as curvas de torque e velocidade dos motores com ímãs superficiais e dos motores com ímãs internos.

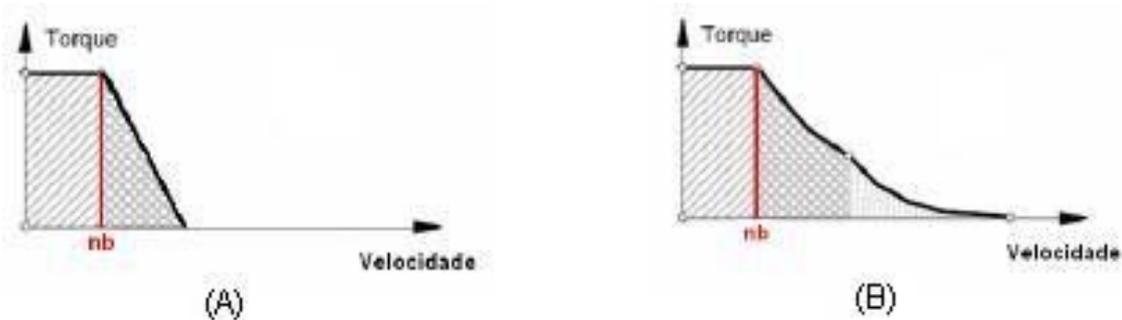


Figura 28 - (A) Curva de torque e velocidade dos motores com ímãs superficiais e (B) Curva de torque e velocidade dos motores com ímãs internos

Fonte: Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG, Departamento de P&D do Produto – Motores – WEG Equipamentos Elétricos S.A.

Os ímãs no rotor garantem uma grande redução das perdas elétricas e, conseqüentemente, asseguram uma menor elevação da temperatura do motor. Devido a estas vantagens, o volume e o peso do motor são menores, se comparados a um motor de indução de mesma potência.

Além dos tipos básicos de motores elétricos apresentados anteriormente, existem ainda diversos tipos de motores, que variam em função da arquitetura e aplicação. Os motores de ímãs permanentes, ao longo dos anos, vêm se destacando nas mais variadas aplicações, e, ultimamente, ganham espaços nos VEs. A razão principal é a ocorrência de grandes avanços na área de materiais magnéticos, devido aos ímãs utilizados nestes motores e dos circuitos eletrônicos responsáveis pelo seu acionamento. Associado a isto, o ganho de eficiência destes se destaca quando comparados com as tecnologias convencionais de máquinas elétricas. Há outras razões relacionadas à sua construção, que justificam o crescimento na utilização destes motores, descritas abaixo:

- Construção de ímãs permanentes em larga escala, com altos valores de energia magnética a um custo razoável.

- Componentes eletrônicos mais confiáveis a altas temperaturas, com alta velocidade de chaveamento e alta densidade de corrente.

Por outro lado, o custo inicial torna-se mais elevado, no que se reflete aos preços dos motores síncronos a ímãs permanentes. Têm sido introduzidos nos motores elétricos os ímãs de ferrites, alnico e samário-cobalto (Sm-Co), neodímio-ferro-boro (Nd-Fe-B). Os ímãs de Nd-Fe-B têm promissoras aplicações para os motores elétricos. Nos últimos anos, as propriedades dos ímãs, particularmente os de Nd-Fe-B, têm sido continuamente aperfeiçoadas pelos fabricantes. Estes possuem maiores densidades de energia magnética, resistem mais à desmagnetização e a temperaturas mais elevadas. O ímã de Neodímio-Ferro-Boro (Nd-Fe-B) possui remanência e coercividade elevadas, quando comparado ao ímã de ferrite (cerâmico). Em termos de energia magnética, o primeiro possui uma densidade 18 vezes maior que a do segundo; além disso, os Nd-Fe-B já se encontram adaptados para trabalhar com temperaturas de até 180°C.

Desta forma, o motor síncrono a ímã permanente pode operar com torque constante em uma ampla faixa de velocidade a partir de 10% da sua velocidade nominal. Neste caso, o controle é um inversor de tensão com frequência variável, utilizando para tal suprimento PWM, conforme apresentado na Figura 29.

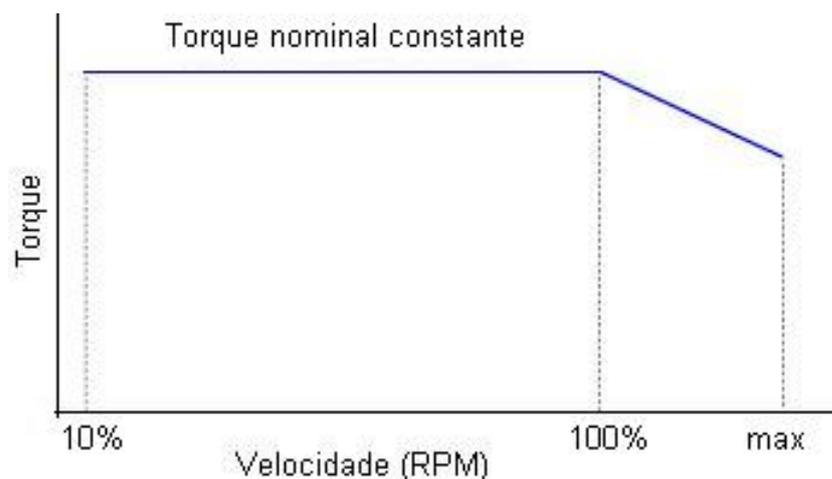


Figura 29 - Curva de torque e velocidade de um motor síncrono controlado por inversor

Fonte: Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG, Departamento de P&D do Produto – Motores – WEG Equipamentos Elétricos S.A.

Inversor

Modelo: Inversor WEG (CFW-09-PM)

Peso: 41kg

Método de controle vetorial

Saída em tensão trifásica: de 0 a 220V entre fases

Frequência de 0 a 200HZ

Autoajuste adaptando automaticamente ao controle vetorial ao motor e à carga

Inversor Regenerativo

Banco de Baterias

Com relação ao banco de baterias, foram adotadas 20 baterias em série, 12V, 47Ah, Modelo STH47-12, peso 20,8 kg da SATURNIA.

É importante destacar que os dados do banco de baterias citado estão sendo tomados como referência. Busca-se com isto nas fases posteriores do projeto minimizar o seu peso total, bem como compatibilizar a sua tensão ao tipo de controlador e motor que se mostrar mais apropriado.

A Tabela 17 resume os componentes principais inseridos e suas massas correspondentes.

Tabela 17 - Tabela referente às massas dos componentes do sistema

Componente	Peso (kg)
Veículo	963
Motor	220
Inversor	41
Banco de Baterias	416
Passageiros	210
Total	1.850

Obs: Os valores citados tomaram como referência as tabelas com as especificações técnicas dos respectivos fabricantes.

O cálculo do peso do veículo convertido levou em conta a retirada do motor a combustão interna, do tanque de combustível e acessório de escape. O peso líquido

original era de 1.080 kg e com esta redução passou a 963kg. Incluindo-se o valor estimado dos novos dispositivos instalados e considerando passageiros e carga, este peso, com esta nova configuração, para efeito dos cálculos iniciais é de 1.850 kg, indicado na Tabela 3.4.

Para elaboração dos cálculos apresentados em seguida, as Tabelas 18 e 19 informam, respectivamente, a eficiência considerada para dispositivos utilizados e dados complementares.

Tabela 18 – Tabela de eficiência adotada para os componentes do veículo

Componente	Eficiência (%)
Motor	94
Inversor	90
Baterias	90
Transmissão	96

Obs: Os valores indicados são estimativos.

Com respeito à transmissão original do veículo, verifica-se o seguinte:

Relação de transmissão resultante entre o eixo primário da caixa de marchas, o diferencial e as rodas do veículo:

1ª marcha: 1: 19,534;

2ª marcha: 1: 10,594;

3ª marcha: 1: 6,788;

4ª marcha: 1: 4,526.

Tabela 19 - Dados Complementares

Área frontal do veículo (m ²)	2,99
Aceleração da gravidade (m/s ²)	9,81
Coefficiente de resistência aerodinâmica	0,43
Densidade volumétrica do ar (kg/m ³)	1,23

3.7 Cálculos Efetuados

A partir das equações 2.1 a 2.17, foram elaborados diversos cálculos e análises das condições operacionais do veículo. Procurou-se examinar várias situações de desempenho do veículo, de forma a verificar a adequação e compatibilidade dos componentes disponíveis. Neste sentido, foram determinados os valores de diversas grandezas relacionadas com os torques exercidos nas rodas e no motor, a quantidade de energia despendida e a potência máxima requerida pelo veículo.

Deve ser assinalado que em todos os cálculos da componente de resistência ao rolamento utilizou-se como coeficiente a equação (2.12), tendo em vista que apresenta valores mais conservativos em comparação aos fatores usualmente aplicados que se situam na faixa de 0,015 a 0,020.

3.7.1 Deslocamento no plano sem vento com velocidade constante 50 km/h e trecho de 1.050 m

O trecho escolhido corresponde ao maior trecho plano entre a UERJ (Maracanã) e o CEFET-RJ (Maracanã).

Neste caso, a energia utilizada pelo veículo foi empregada para vencer a resistência ao rolamento e a resistência aerodinâmica. O tempo necessário para completar o percurso foi de 75,6s. Esta simulação foi realizada considerando a relação de transmissão em 4ª marcha e os resultados estão resumidos na Tabela 20.

Tabela 20 Torque, potência e energia referentes ao item 3.7.1

Torque da roda (Nm)	272,50
Torque do motor (Nm)	60,02
Potência média (kW)	11,40
Energia fornecida pela bateria (kWh)	0,32

3.7.2 Deslocamento no plano sem vento partindo do repouso com aceleração de 1 m/s² e atingindo velocidade máxima de 50 km/h no trecho de 1050 m

Nesta situação, considerando a relação de transmissão em 4ª marcha, de acordo com a Tabela 21 e as figuras que se seguem, o veículo consome energia para romper a inércia, a resistência aerodinâmica e vencer a resistência ao rolamento. Constata-se que há ultrapassagem do torque nominal do motor considerado. A partir dos cálculos executados, obteve-se o tempo de percurso igual a 82,6s e os resultados abaixo:

Tabela 21 - Torques, potência e energia referentes ao item 3.7.2.

Torque máximo da roda (N.m)	898,40
Torque máximo de motor (N.m)	255,3
Potência máxima (kW)	37,66
Energia drenada da bateria (kWh)	0,42

Na tabela acima, na simulação realizada para o torque máximo no eixo motor, consideraram-se as perdas mecânicas relativas ao sistema de transmissão; para a potência, foram consideradas as perdas elétricas relativas aos dispositivos elétricos de potência.

Nas Figuras de 30 a 32 estão incluídos os gráficos das velocidades, potência e torque em relação ao tempo em segundos, obtidos a partir das equações (2.8) a (2.16).

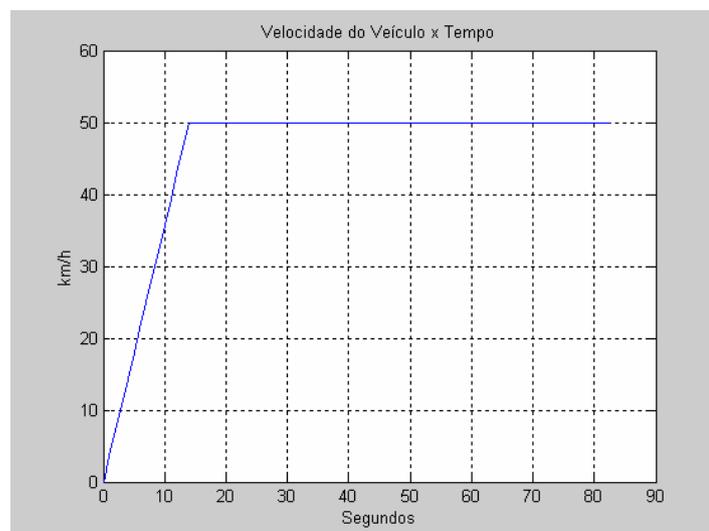


Figura 30 - Velocidade do veículo em km/h referente ao item 3.7.2

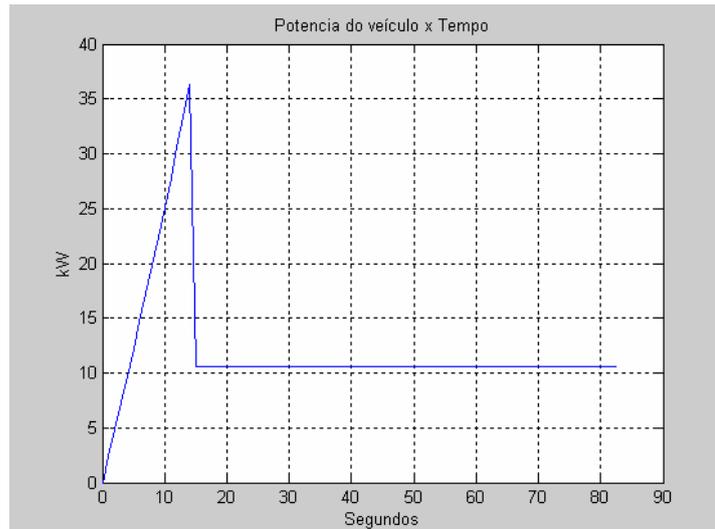


Figura 31 - Potência em kw desenvolvida pelo veículo, referente ao item 3.7.2

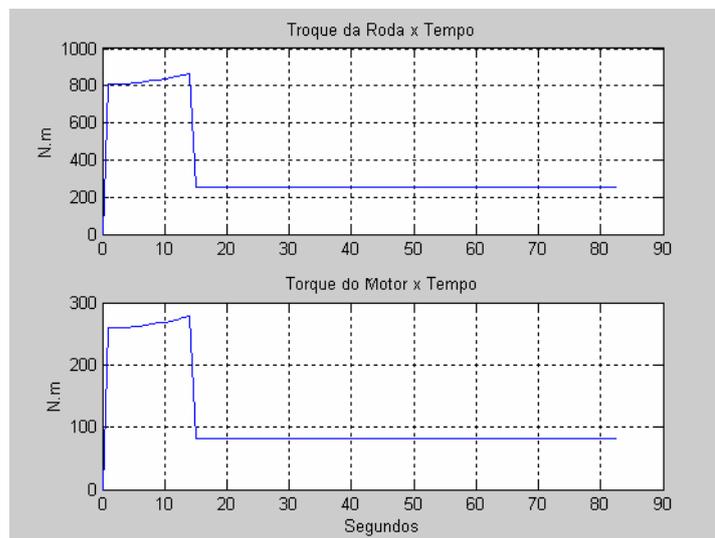


Figura 32: Torque na roda e torque no motor em N.m, referente ao item 3.7.2

3.7.3 Deslocamento sem vento em acive de 13 graus em percurso de 40 m partindo do repouso e atingindo a velocidade de cruzeiro de 20 km/h

A Tabela 22 resume os resultados referentes ao torque, potência e energia.

Tabela 22 Resultados referentes ao item 3.7.3

Torque máximo da roda (Nm)	2.173
Torque máximo do motor (Nm)	617,5
Potência máxima (kW)	32,5
Energia fornecida pelas baterias (kWh)	0,09

Estas simulações, conforme os gráficos das Figuras 33 a 36, obtidos a partir das equações (2.8) a (2.16), demonstram que o torque máximo do motor a ser utilizado é ultrapassado, indicando a necessidade de manter as mudanças de marcha originais da Kombi.

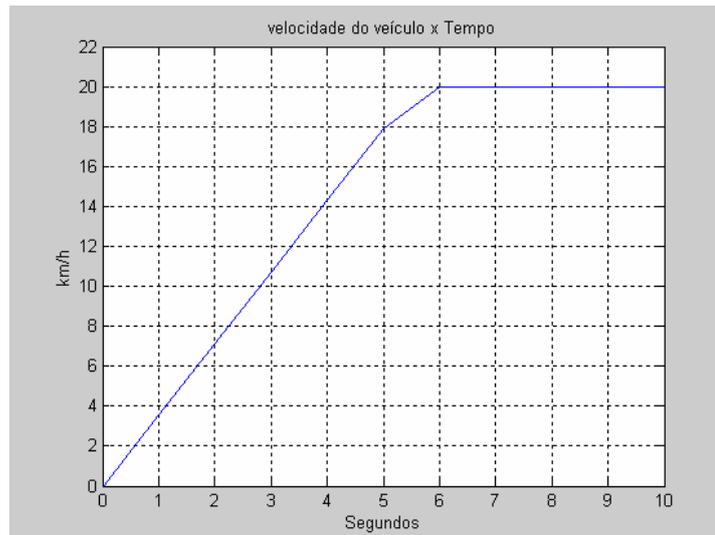


Figura 33 - Velocidade do veículo, em km/h, *versus* tempo, referente ao item 3.7.3

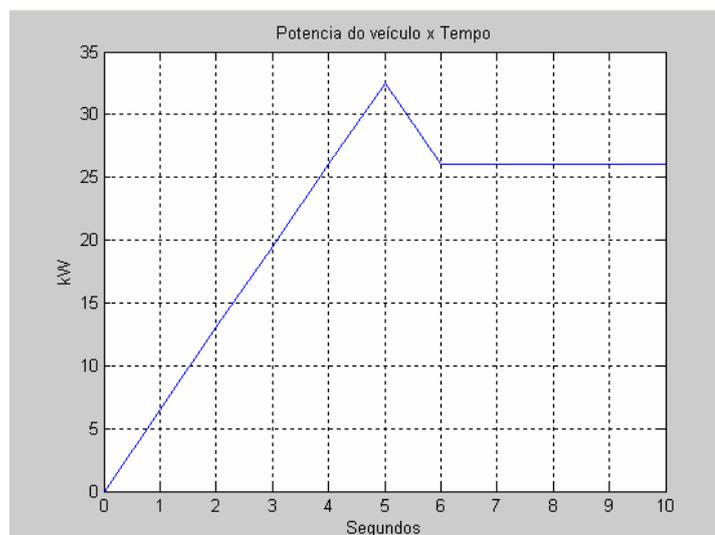


Figura 34 - Potência, em kw, desenvolvida pelo veículo *versus* tempo, referente ao item 3.7.3

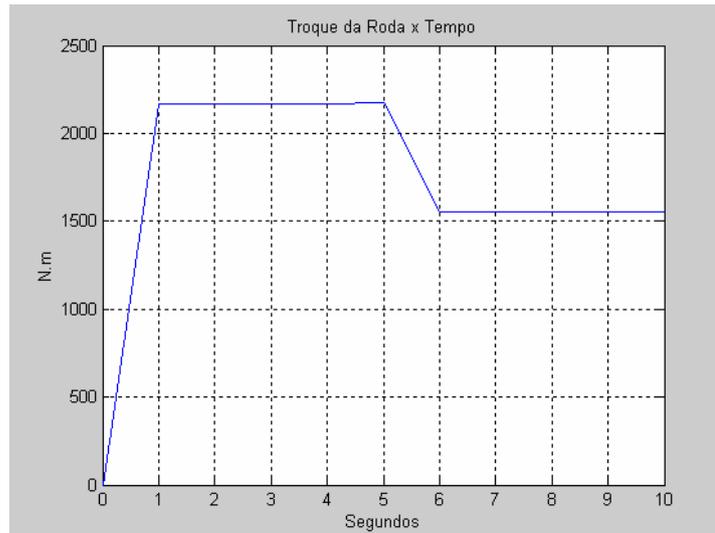


Figura 35 - Torque na roda, em N.m, *versus* tempo referente ao item 3.7.3

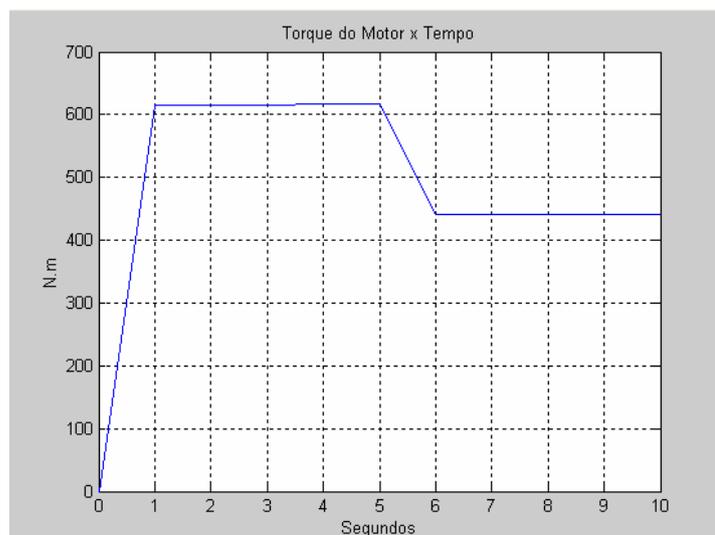


Figura 36 - Torque no motor, em N.m, *versus* tempo referente ao item 3.7.3

3.7.4 Deslocamento sem vento partindo do repouso alcançando velocidade de 80 km/h em percurso de 1.050 m

Foi constatado, de acordo com a Figura 40 e Tabela 23 em seguida, neste caso, que o torque máximo suportável pelo motor também foi ultrapassado. Além disso, o valor médio da potência desenvolvida pelo veículo encontrado foi aproximadamente de 26,5 kW. Este valor foi considerado elevado, uma vez que ficou acima da potência nominal do motor considerado. Os resultados encontrados

indicaram a necessidade de fixar a velocidade máxima em 60 Km / hora, tendo em vista os componentes adotados.

Nas Figuras de 37 a 40, estão incluídos os gráficos das velocidades, potência e torque em relação ao tempo em segundos, obtidos a partir das equações (2.8) a (2.16).

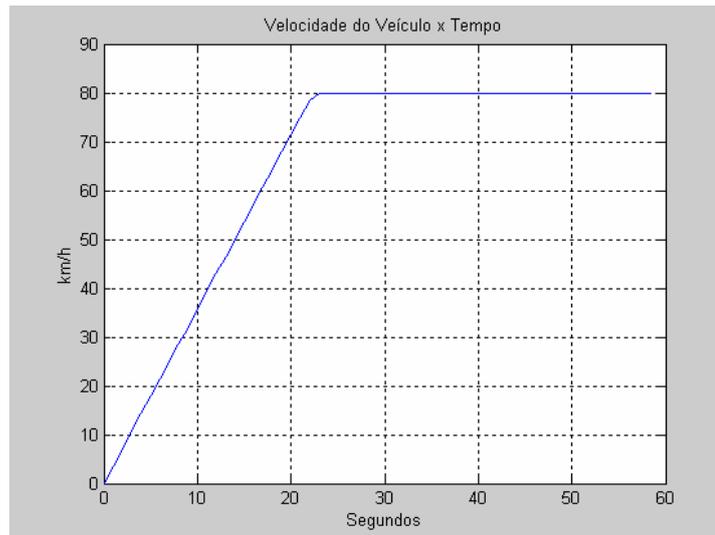


Figura 37 - Velocidade do veículo em km/h *versus* tempo referente ao item 3.7.4

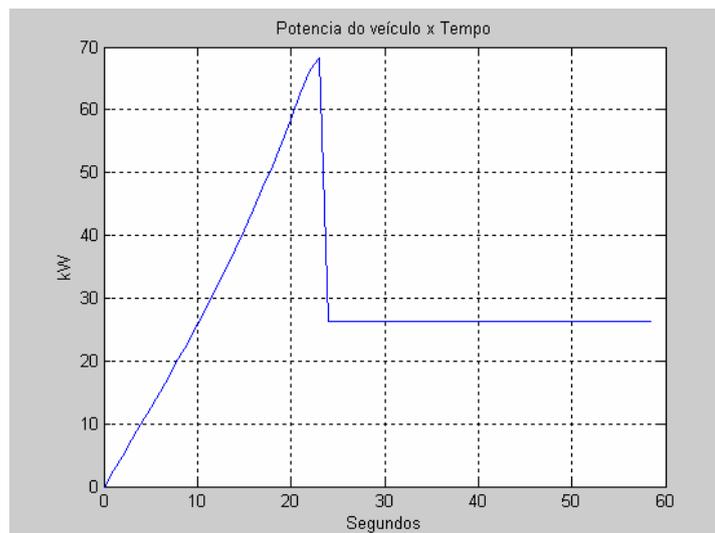


Figura 38 - Potência em kw desenvolvida pelo veículo *versus* tempo referente ao item 3.7.4

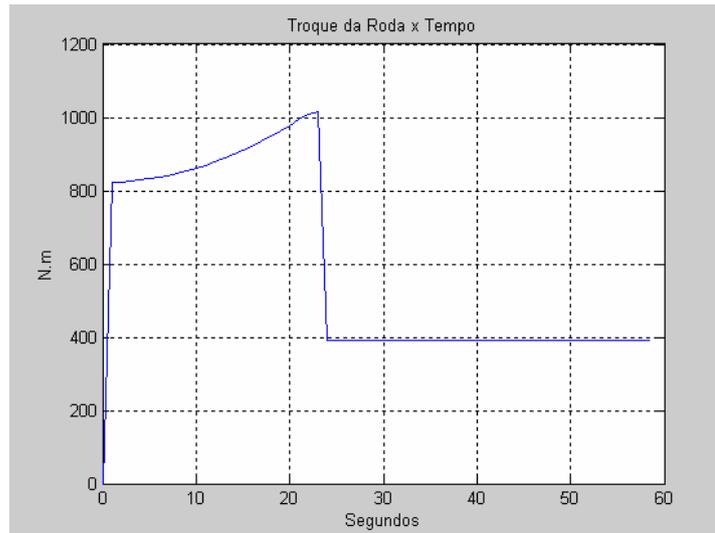


Figura 39 - Torque na roda, em N.m, *versus* tempo referente ao item 3.7.4

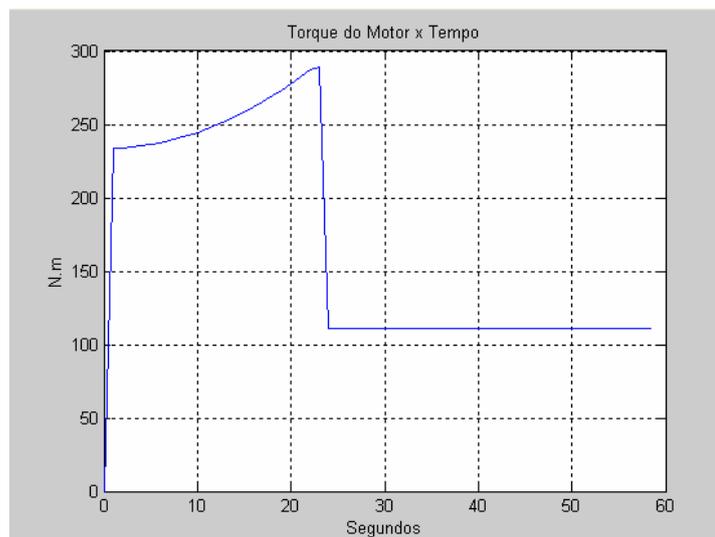


Figura 40 - Torque no motor, em N.m, *versus* tempo referente ao item 3.7.4

Tabela 23 Torque, potência e energia referentes ao item 3.7.4

Torque máximo da roda (N.m)	1.016,70
Torque máximo do motor (N.m)	288,90
Potência máxima (kW)	68,20
Energia fornecida pela bateria (kWh)	0,67

Estes resultados confirmam a necessidade de manter a caixa de marchas original da Kombi.

3.7.5 Deslocamento no trajeto CEFET-RJ (Maria da Graça) e UERJ (Maracanã)

Uma vez que se constatou ultrapassagem do torque máximo do motor considerado e resolveu-se, conforme anteriormente afirmado, manter a caixa de câmbio original do veículo.

Na simulação deste item, verificou-se nos trechos de maior exigência a compatibilidade do torque e da potência máxima do motor. Os resultados encontrados evidenciaram ser viável o emprego do motor e das baterias consideradas. Neste caso o consumo de energia total do banco de baterias foi na ordem de 4,31 kWh, sendo portanto suficiente para percorrer o trecho entre o CEFET-RJ (Maria da Graça) e UERJ (Maracanã), visto que a energia disponível em condições normais de tensão e corrente, mantidas constantes, é de 11,28 kWh.

A Tabela 24 resume os resultados do torque, potência e energia referentes ao item 3.7.5.

Tabela 24 - Resultados referentes ao item 3.7.5

Torque máximo (N.m) na roda	1.511,86
Torque médio (N.m) na roda	725,09
Torque máximo (N.m) no motor	334,48
Torque médio (N.m) no motor	160,42
Potência máxima (kW) do veículo	59,44
Potência média (kW) do veículo	16,01
Energia (kWh) fornecida pelas baterias	4,31
Distância total (m) percorrida	4.448,78

A Tabela 25 adaptada de Pecorelli (PECORELLI, FREITAS, 2007) apresenta um resumo dos resultados obtidos nos cálculos anteriores.

Tabela 25 - Resumo dos resultados obtidos nos cálculos anteriores

teste	Inclinação (graus)	Potência total do veículo (kw)	Torque no motor (Nm)	Velocidade da roda (RPM)	Velocidade do motor (RPM)
1ª marcha (10km/h)	15	22,96	140,33	80	1562,4
2ª marcha (10km/h)	15	22,96	258,79	80	847,20
3ª marcha (10km/h)	15	22,96	404,22	80	542,40
4ª marcha (10km/h)	15	22,96	606,44	80	361,6
1ª marcha (15km/h)	15	34,28	140,51	120	2.343,6
2ª marcha (15km/h)	15	34,28	261,57	120	1.258,80
3ª marcha (15km/h)	15	34,28	404,69	120	813,6
4ª marcha (15km/h)	15	34,28	607,04	120	542,40
1ª marcha (20km/h)	15	45,41	138,78	160	3.124,8
2ª marcha (20km/h)	15	45,41	255,92	160	1.694,4
3ª marcha (20km/h)	15	45,41	399,74	160	1.084,80
4ª marcha (20km/h)	15	45,41	599,55	160	723,2
3ª marcha (60km/h)	0	53,11	155,93	480	3.254,40
1ª marcha (16km/h)	13	33,66	128,54	128,10	2.501,78
3ª marcha (46,80 km/h)	0	40,27	151,23	374,48	2.542,72

Ao final deste capítulo, considerou-se interessante construir uma tabela na qual são colocados dados de veículos convertidos, eletrificados e fabricados, destacando-se a Kombi utilizada neste trabalho.

Tabela 26 - Dados de veículos convertidos, eletrificados e fabricados

Veículos	Peso PBT	Vel máxima	Tipo de bateria	Nível de tensão	Energia disponível	Tipo de motor	Transmissão	Tipo de controle
Kombi UERJ CEFET	1.850 kg	80 km/h	Pb-acid	240 V	11,28 kWh	Síncrono IP 30 HP	Diferencial + 4 marchas	Inversor CC/CA
Gurgel Itaipu	780 kg	60 km/h	Pb-acid	120 V	10,80 kWh	CC 4,2 HP	Redução 1:4,35	Eletrônico analógico
Itaipu E400	~2000 kg	80 km/h	Pb-acid	48 V	19,20 kWh	CC 11HP	Diferencial + 4 marchas	Eletrônico analógico
Kombi UNICAMP	1.950 kg	35 km/h	Pb-acid	228 V	10,94 kWh	Indução 20 HP	Diferencial + 4 marchas	Inversor CC/CA
Supermini UNICAMP	~700 kg	95 km/h	Pb-acid	84 V	10 kWh	CC 13 HP	Diferencial + 4 marchas	Conversor CC/CC
Saveiro WEG	~1.700 kg	126 km/h	Pb-acid	240 V	~ 15 kWh	Indução 20 HP	Diferencial + 5 marchas	Inversor CC/CA
ASTRA FEI – X19		~120 km/h	Pb-acid	288 V		Indução 30 HP	Diferencial + 5 marchas	Inversor CC/CA
Palio elet. Weekend	~1.400 kg	110 km/h	ZEBRA	253 V	14,15 kWh	Indução 20 HP	Redução 1:50	Inversor CC/CA
Ford Courier	1.700 kg	112 km/h	Pb-acid	120 V	~15 kWh	CC 23 HP	Diferencial + 4 marchas	Conversor CC/CC
Ford Ranger	~2.600 kg	104 km/h	Pb-acid	144 V	~20kWh	CC 19 HP	Diferencial + 4 marchas	Conversor CC/CC
VW Fusca		104 km/h	Pb-acid	120 V		CC 18 HP	Diferencial + 4 marchas	Conversor CC/CC
GM IMPACT	1.384 kg	128 km/h	Pb-acid	312 V	16,8 kWh	Indução	Planetária	Inversor CC/CA
Nissan FEV	900 kg	130 km/h	Ni-Cd	280 V	11,6 kWh	Indução duplo	Planetária	Inversor CC/CA
BMW EI/E2	915 kg	120 km/h	Na-s	180 V	28,8 kWh	CC - IP	Planetária	Conversor CC/CC
U2001	1.973 kg	110 km/h	Ni-Ca	264 V	37 kWh	CC - IP	Planetária	Conversor CC/CC

4 MONTAGEM E PROGRAMAÇÃO DE TESTES COM A KOMBI CONVERTIDA PARA TRAÇÃO ELÉTRICA

A Figura 41 apresenta uma foto dos alunos da UERJ e do CEFET executando tarefas relacionadas à conversão da Kombi.



Figura 41 - Alunos da UERJ e do CEFET em atividades de preparação da Kombi

4.1 Atividades relacionadas à preparação da Kombi

Diversas atividades foram desenvolvidas para a preparação da Kombi: receber o novo sistema de tração, destacando-se a desmontagem, o levantamento dos dados técnicos originais e o levantamento detalhado do trajeto pretendido.

Em seguida, a Figura 42 apresenta uma foto do local preparado para o encaixe do motor elétrico.

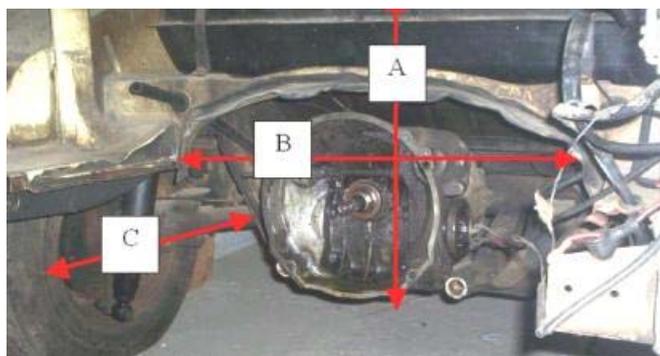


Figura 42 - Espaço disponível para colocação do motor elétrico. A - Altura (600 mm); B – Largura (740 mm); C – Comprimento (460 mm)

A Figura 43 exibe a parte traseira da Kombi, com as respectivas dimensões.

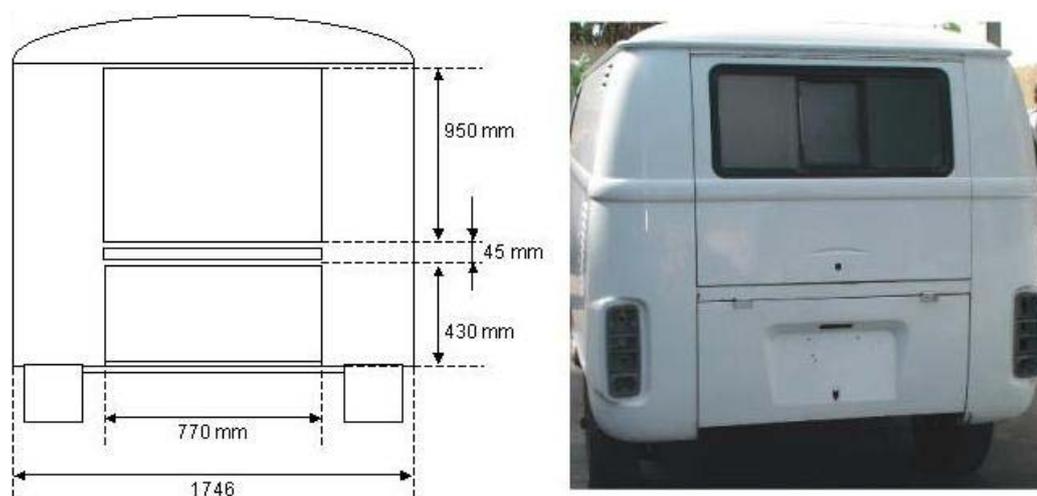


Figura 43 - Parte traseira da Kombi (altura total do solo até o teto – 1.912 mm)

A Figura 44 indica a vista superior da parte interna (1.410 mm x 1.170 mm) referente ao compartimento destinado ao banco de baterias e cargas a serem transportadas.

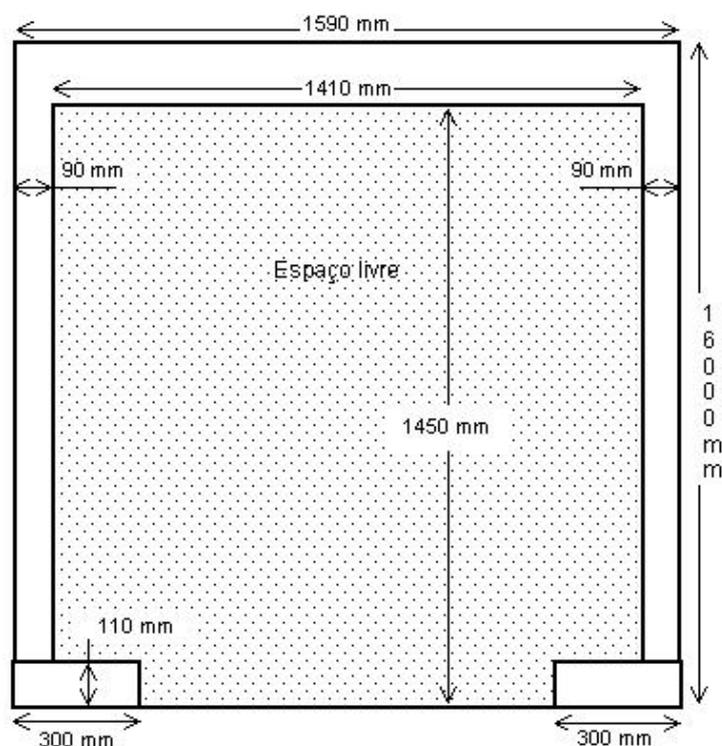


Figura 44 - Dimensões do compartimento interno da Kombi destinado ao banco de baterias e cargas a serem transportadas

4.2 Circuito elétrico de potência e controle

A Figura 45 apresenta o circuito elétrico a ser utilizado para o sistema de propulsão.

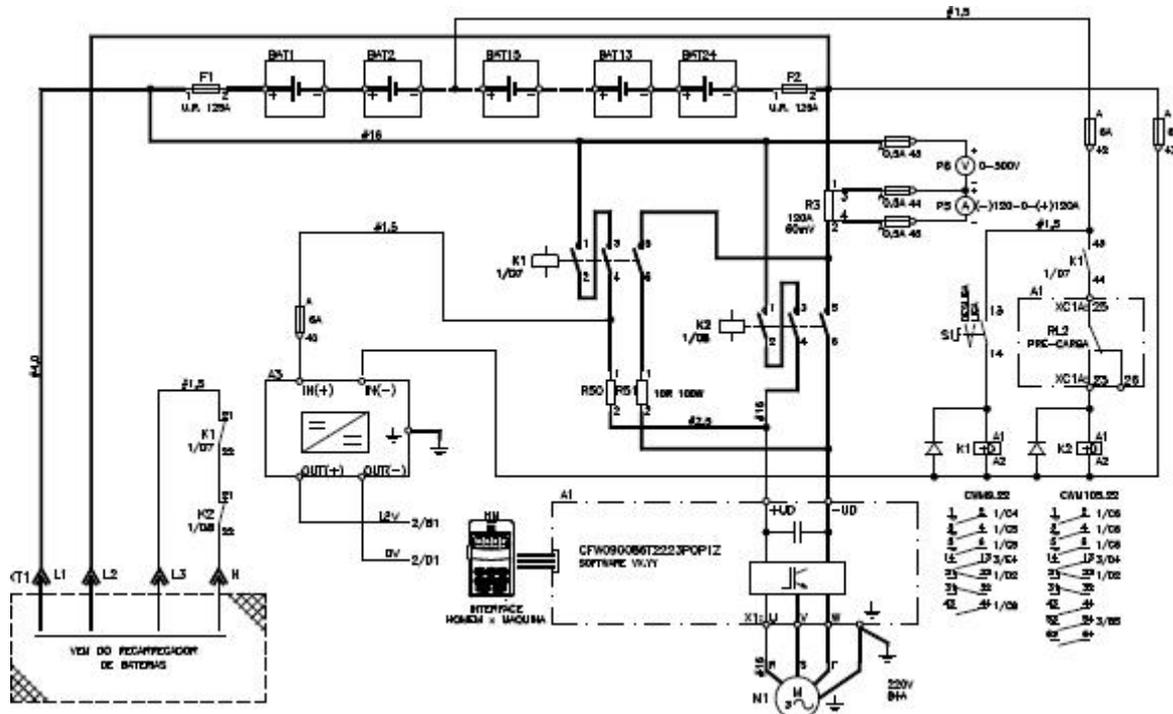


Figura 45 - Circuito elétrico do sistema de propulsão

4.2.1 Dispositivos de potência e controle

Para viabilização do projeto, buscou-se adaptar os dispositivos e instrumentos existentes comercialmente no mercado e também disponíveis pelos patrocinadores, porém, foi preciso desenvolver diversos elementos para atender os requisitos necessários. A seguir, é apresentada uma lista completa dos equipamentos elétricos e da instrumentação, e a Figura 46 expõe uma foto de alguns destes dispositivos.

Equipamentos e instrumentação

- **Motor elétrico:** Wmagnet WEG Potência: 22 kW (30 HP-cv); Rotação nominal: 2600 rpm; Tensão do inversor : 204V; Corrente nominal: 72.0 A.
- **Conversor estático tipo:** CFW090086T2223POP1Z (VE20.01) WEG.

- **Conversor chaveado:** CC/CC - CHMC, entrada: 180-300vcc, saída: 12vcc-20 A.
- **Conversor:** CA/CC CMW-02 17/380-V3 WEG.
- **Kit:** IHM-09 KMR-CFW-09 WEG.
- **Bobina de indução monofásica:** 10A, indutância 12mh, 60hz e classe b.
- **Amperímetro analógico:** Modelo BK 72, Bobina móvel: $\pm 1,5\%$, sinal de entrada: (-)60-0-(+)60mv, escala: (-)120-0-(+)120 A.
- **Voltímetro analógico:** bobina móvel, $\pm 1,5\%$, sinal de entrada: 0-300vcc, escala: 0-300 VCC, deflexão do ponteiro: 240 graus.
- **Chave fim de curso:** Série "MW", com contato SPDT.
- **Contator:** Tripolar 125VCC TIPO: CWM9.10 WEG.
- **Potenciômetro veicular:** Modelo PMR 403, diâmetro 31,5mm, 3,85 K.
- **2 Resistores:** De fio 10R, $\pm 5\%$, 100W Eletron.
- **Shunt:** Forma A2, 60mV, 120A Kron.
- **Fusíveis:** 2 - NH Ultrarrápido 125^A, tipo - Y320365 FERRAZ-LINDNER.
- **Cartão PLC1:** para inversor de frequência WEG - CFW-09.



Figura 46 - Foto dos equipamentos e instrumentação

4.2.2 Posicionamento e fixação dos dispositivos de potência e controle

Características técnicas do motor utilizado

O motor Wmagnet WEG é de ímãs permanentes, síncrono com características diferenciadas. Em contraste à gaiola de esquilo dos motores de indução, o Wmagnet possui ímãs de alta densidade de energia no interior do rotor, em uma configuração especialmente desenvolvida para minimizar vibrações e ruído e maximizar a eficiência em toda a faixa de variação de velocidade, abaixo ou acima da velocidade nominal. A ausência da gaiola de esquilo elimina perdas Joule por circulação de corrente no rotor, o que garante um rendimento superior, em comparação aos motores de indução largamente utilizados na indústria. Os dados construtivos estão resumidos na Tabela 27.

Tabela 27 - Dados resumidos do motor elétrico utilizado na conversão

Características elétricas		Características físicas e mecânicas	
Potência	22kW (30cv)	Rotação nominal	2.600 rpm
Tensão nominal	204V	Faixa de rotação	260 a 2.600
Corrente nominal	72.0 A	Sentido de rotação	Ambos
Fator potência	0,98	Torque nominal	80.8 Nm
Rendimento	94%	Torque máximo	150Nm p/ 20s
Fator de serviço	1.00		
Regime de serviço	S1	Momento de inércia	0.24320 kgm ²
Proteção	IP55 (TEFC)	Forma construtiva	B35D
Nº de pólos	6	Carcaça	180L
Classe do isolamento	F	Massa aprox.	220 kg
Frequência nominal	60 HZ	Temperatura ambiente	40°C
Potência linear	Até a rotação nominal	Torque constante	Em toda faixa de rotação

Para a adaptação do motor elétrico na Kombi, várias possibilidades foram analisadas. Levou-se em conta, principalmente, a disponibilidade de espaço existente, o peso do motor e os custos necessários para esta adaptação. A partir das condições existentes, optou-se pelo acoplamento direto, isto é, utilizando o sistema de transmissão original, e, para tal, foi projetada uma luva para ser colocada

no eixo do motor. Nesta peça foi fixado o volante motor original da Kombi, com seus devidos dispositivos de transmissão (platô e disco de embreagem). Desta forma, a adaptação tornou-se razoavelmente simples. A Figura 47 apresenta o acoplamento projetado para adaptação do motor elétrico na caixa de marchas.



Figura 47 - Acoplamento projetado para adaptação do motor elétrico na caixa de marchas

Devido ao comprimento do motor elétrico ultrapassar o espaço interno do veículo, se fez necessário um alongamento na carroceria na sua parte traseira. Visando adequar os requisitos desta adaptação de forma a atender critérios estéticos, foi projetado um prolongamento da parte traseira da Kombi, onde foi colocado o pneu sobressalente. O projeto gráfico foi desenvolvido com a colaboração da Auge Design Soluções Integradas.

A Figura 48 mostra uma ilustração do projeto da Kombi na forma final.



Figura 48 - Alongamento da parte traseira da Kombi

Características técnicas do inversor

O inversor estático empregado permite transformar a tensão e corrente contínua das baterias em sinais de corrente e tensão alternada, de forma a controlar a velocidade do veículo de acordo com os comandos provenientes do pedal eletrônico. É um conversor padrão da linha CFW09, porém seu sistema de gerenciamento foi modificado, para poder acionar um motor do tipo Wmagnet. Este inversor, além de ter um sistema de gerenciamento especial (VE20.01) próprio para o acionamento de um motor Wmagnet em 220V, também possui uma placa PLC1, que faz as funções de um CLP (controle lógico programável), permitindo que se estabeleçam os comandos e intertravamentos necessários ao funcionamento do veículo.



Figura 49 - Foto do inversor de potência WEG CFW09

As especificações do inversor foram estabelecidas em função da necessidade de obter as rotações especificadas para o funcionamento do veículo levando em conta a potência e torque. Suas principais características são:

- 30kVA, entrada de tensão DC 240 V e de saída: em tensão trifásica, de 0 a 300V entre fases e frequência de 0 a 200Hz.

O inversor apresenta ainda as seguintes características:

- Potência: 1,5 a 30 CV;
- Controle escalar e vetorial programável;
- Controle vetorial com alto torque e rapidez na resposta, mesmo em velocidades muito baixas e na partida, autoajuste adaptando automaticamente o controle vetorial ao motor e a carga, dispositivo de regeneração;
- Cartão opcional com funções de CLP, Multi-speed: Através da combinação de três entradas digitais, o motor pode ser acionado em até oito velocidades pré-programadas, regulador PID (proporcional, integral e derivativo), partida com o motor girando, sendo que as frequências de ressonância podem ser evitadas, a fim de minimizar o esforço mecânico na máquina.

O controle oferecido pelo cartão CLP se faz necessário em função das diversas velocidades de rotação exigidas para movimentação do veículo. Na fase inicial de funcionamento, é preciso verificar a que rotação o mesmo começa a produzir torque, como também o seu desempenho nas diversas rotações até atingir a rotação máxima do motor.

Para a instalação do inversor no veículo

Nos ensaios realizados a plena carga, há uma quantidade maior de parâmetros a serem analisados, necessitando também de diversas velocidades de rotação. Para estes ensaios, leva-se em consideração a velocidade de rotação nominal do motor em torno de 2.600 RPM.

O funcionamento do sistema ocorre de duas maneiras: primeiro, manualmente, a partir do controle existente no próprio inversor CFW 09. Para isto, utiliza-se uma interface homem-máquina destacável, com duplo display (LCD + LED's). Através deste dispositivo configura-se o inversor, são visualizadas diversas variáveis de funcionamento do motor. A segunda maneira, mais adequada para este trabalho, é de forma automatizada, usando o cartão PLC1. Este cartão, conforme a Figura 50, permite que o inversor de frequência CFW-09 assuma funções de um controle lógico programável, a partir do acionamento de um potenciômetro adaptado no pedal do acelerador. Conta-se para isto com um encoder (sensor de velocidade) instalado no eixo do motor, com as seguintes características:

- Referência de velocidade e módulo de posicionamento;
- Realização das lógicas da placa PLC1 através do WLP (Weg Ladder Program) em linguagem Ladder, temporizadores, contadores, bobinas e contatos;
- Conexão RS-232 com Protocolo Modbus RTU;
- Disponibilidade de 100 parâmetros configuráveis via software ou IHM (interface homem-máquina);
- Interface CAN com protocolos Canopen e DeviceNet. CANopen mestre, pode operar como mestre da rede CANopen, permitindo controlar um conjunto de até 8 escravos, em um total de 1.024 pontos (512 de entrada e 512 de saída).



Figura 50 - Foto do cartão PLC

Utilizando o cartão PLC é possível realizar diversas programações de velocidade de rotação, torque e potência, estabelecendo em cada fase de funcionamento os parâmetros ideais para o funcionamento do veículo. Além disso, é possível também realizar o controle acionando os dispositivos de saída do motor, frenagem e controle nas variações de carga. Desta forma, este controle, juntamente com o sistema de aquisição de dados, permite mais rapidez na realização dos ensaios de ajuste.

A Figura 51 ilustra parte da programação feita com o programa WLP que é utilizado para controlar a placa PLC1.

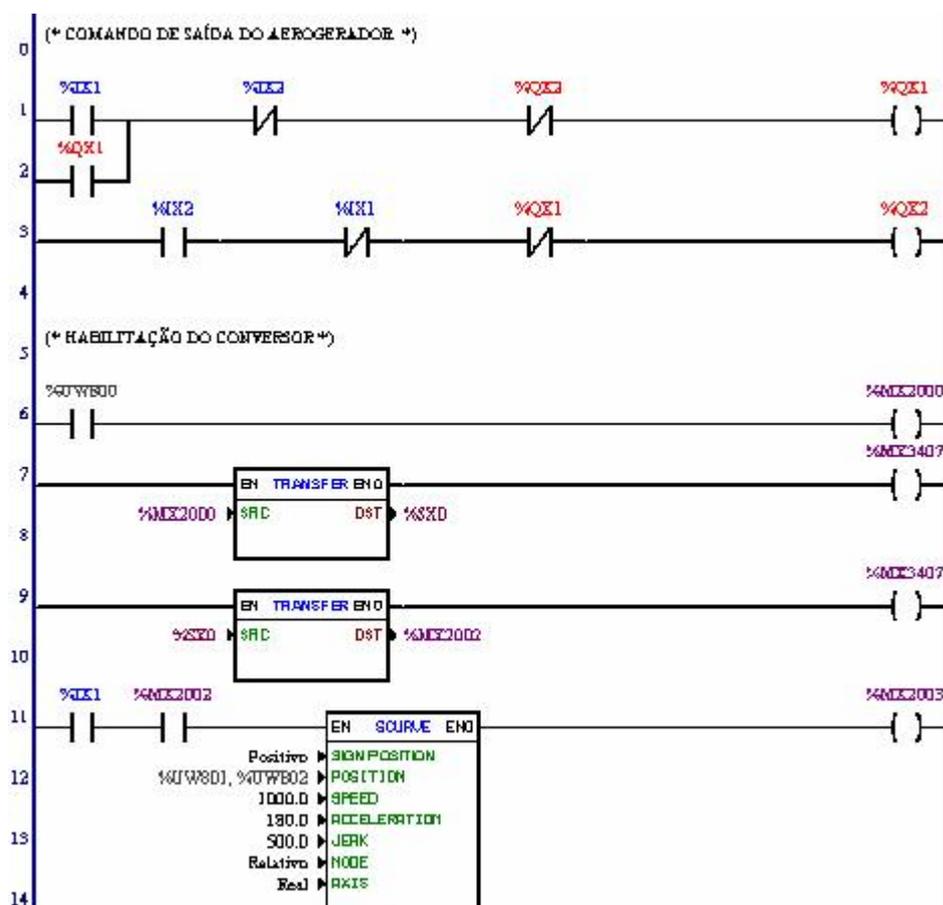


Figura 51: Ilustração do programa WPL

O inversor CFW090086 pode atuar no sistema de propulsão convertendo o modo de funcionamento do motor para gerador, de forma a funcionar como gerador

nas frenagens e declives. Estas características permitem aproveitar parte da energia dissipada nestas condições para recarga das baterias.

4.2.3 SISTEMA DE SUPERVISÃO

Para monitoração e aquisição de dados do inversor, pode ser utilizado o programa SuperDrive, disponibilizado pela WEG. Para o sistema de supervisão do funcionamento do veículo, também pode ser utilizado um programa através do Software Elipse SCADA, já que a WEG também o utiliza. Assim é possível ajustar e supervisionar o sistema a partir do inversor ou por um computador pessoal conectado a ele.

4.2.4 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a aquisição de dados, diversas variáveis devem ser observadas e controladas. A primeira delas é o controle da velocidade, exercido através do inversor acoplado ao motor. A partir da programação de rotação e do valor conhecido da relação de transmissão, deduz-se a velocidade do veículo. Quatro situações devem ser consideradas. A primeira é a velocidade mínima até a obtenção do torque necessário para o deslocamento inicial do veículo em um terreno plano. A segunda refere-se à faixa de operação que se dá após o veículo vencer a inércia e atingir a velocidade de cruzeiro desejada. A terceira situação a ser observada é quando o veículo está funcionando para manter uma potência de saída constante e máxima, isto é, quando ele atinge sua velocidade máxima em um terreno plano e permanece desta forma por um longo período de tempo. A quarta condição é a mais crítica e corresponde ao deslocamento do veículo a partir do repouso para vencer um aclive.

Assim, para avaliação do desempenho do veículo nas mais diversas condições, se faz necessário um sistema de aquisição de dados capaz de armazenar diversos parâmetros simultaneamente. No caso do veículo em estudo, o sistema de aquisição de dados deve ser projetado para realizar as leituras e registro das seguintes grandezas:

- Tensão contínua na saída do banco de baterias;

- Tensão alternada na saída do inversor para alimentação do motor;
- Corrente contínua de carga do banco de baterias;
- Corrente alternada por fase de alimentação do motor;
- Temperatura do banco de baterias;
- Temperatura do inversor;
- Temperatura do estator do motor;
- Velocidade de rotação do motor;
- Torque no eixo do motor;
- Velocidade do veículo.

As grandezas mencionadas serão obtidas através do sistema de aquisição de dados para medição de corrente, tensão, temperatura e torque. O diagrama em bloco do sistema de aquisição de dados é apresentado na Figura 52.

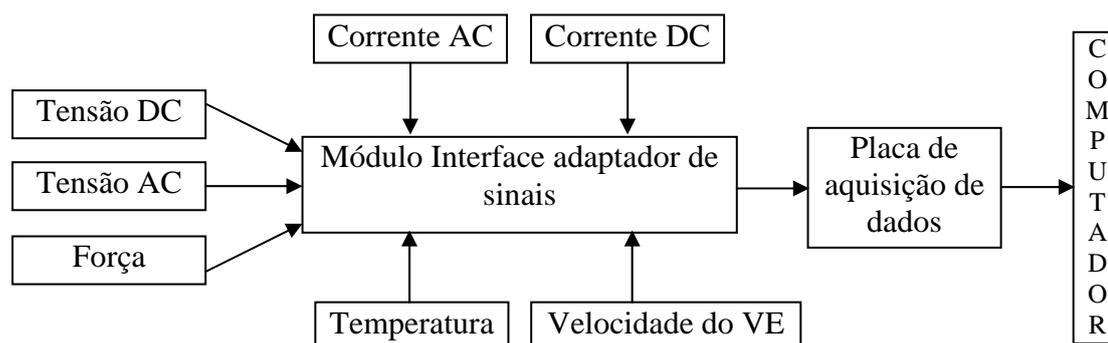


Figura 52 - Sistema de aquisição de dados

Características técnicas e funções de componentes auxiliares

CHAVE FIM DE CURSO, SÉRIE "MW", COM CONTATO SPDT. Estas chaves fim de curso serão utilizadas para informar ao sistema de controle o posicionamento do pedal de freio e do pedal de embreagem, quando estes forem acionados.

KIT PARA IHM-09 KMR-CFW-09 – WEG. É um Kit de Moldura para IHM Remota. Originalmente a IHM fica junto ao CFW09. Com este kit é possível montar a IHM no painel do motorista, possibilitando a visualização e os ajustes durante o funcionamento do sistema.

CMW-02 17/380-V3 - WEG. Este equipamento é um conversor CA/CC para recarregar as baterias. A partir da definição das baterias, deve-se determinar um autotransformador 220-380 para alimentar este conversor.

Nos anexos C e D deste trabalho, encontra-se uma lista detalhada dos materiais e dos esquemas elétricos utilizados para realização da conversão, assim como os desenhos e diagramas para montagem do sistema de propulsão.

4.3 Testes e Ensaios após a Montagem

Existem diversas normas relativas aos testes e ensaios relacionados com veículos elétricos aprovados por entidades no exterior. Todavia, não há normas brasileiras a respeito deste assunto. Desta forma, procuraram-se, com base na consulta de procedimentos citados pela literatura técnica, orientações para serem procedidas após a montagem da Kombi. Neste sentido, foi muito útil o trabalho relacionado com o estabelecimento de metodologia de análise e avaliação de desempenho de veículos elétricos de acordo com Pessanha (PESSANHA e PECORELLI PERES, 2007), (PESSANHA e PECORELLI PERES, 2009) bem como Holman (HOLMAN, 2001), que trata de aspectos gerais sobre experimentos que sugerem que estes testes devem ser realizados em função das grandezas a serem medidas e controladas, do veículo a ser analisado e da duração dos ensaios.

No tocante aos testes de desempenho, a metodologia sugerida em Pessanha (PESSANHA, José Francisco M.; PECORELLI PERES, L.A. 2009) a avaliação de desempenho dos veículos elétricos consistiu no estabelecimento de testes tanto para o modo de descarga da bateria, quando o veículo encontra-se em movimento, quanto para o modo de recarga, quando este se encontra estacionado. Para isto, no modo de descarga procura-se analisar o comportamento da aceleração, frenagem, dirigibilidade e a autonomia em diversas situações para as quais se estabelecem percursos típicos com e sem acives, variando-se a carga a ser transportada. Cada um dos testes no modo de descarga corresponde a um ensaio no modo de recarga que oferece outro conjunto de resultados preciosos relacionados com o consumo de energia elétrica, o fator de potência, o comportamento harmônico da tensão e da corrente de recarga e o custo de reabastecimento. Adicionalmente, é possível se

estimar as emissões evitadas, o combustível economizado, tomando como comparação um veículo a combustão interna similar.

É importante destacar que nos testes mencionados pode haver interações entre as grandezas analisadas. Para interpretá-las e identificá-las, alguns autores (PESSANHA; PECORELLI PERES, 2007] propõem, conforme ilustrado na Figura 53, que um veículo elétrico possa ser considerado como uma função, desconhecida, que atua sobre as variáveis de entrada (fatores F_1, \dots, F_k) e que produz como variáveis de saída os indicadores de desempenho (respostas observadas R_1, \dots, R_m).

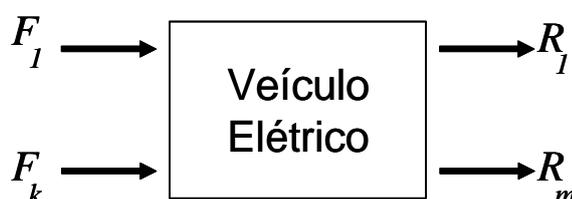


Figura 53 - Veículo elétrico tratado como uma função

Uma vez que não se conhece a função que relaciona os fatores e as respostas, deve-se realizar um experimento com o veículo elétrico visando obter dados que permitam avaliar precisamente os efeitos dos fatores e de suas interações sobre a resposta de interesse.

Para não desperdiçar tempo e recursos, o experimento deve ser planejado. Entre os vários planos experimentais, os autores sugerem o planejamento fatorial completo como um candidato apropriado para o experimento com o veículo elétrico, pois o desempenho do veículo (resposta) é afetado por mais de um fator experimental. Em complemento, citam que, aplicando a Análise da Variância (ANOVA) aos registros experimentais obtidos em um experimento fatorial, pode-se testar a significância estatística dos efeitos dos fatores, e suas interações, sobre as respostas. Uma vez identificados os fatores significativos, os dados experimentais podem ser utilizados na construção de uma superfície de resposta, i.e., na estimativa da função que relaciona a resposta de interesse com os fatores. Nas duas situações acima, a aplicação de técnicas estatísticas aos dados experimentais confere objetividade científica às conclusões do experimento. Para auxiliar na identificação das respostas de interesse e principais fatores, com os respectivos

níveis, considerados nos ensaios com o veículo elétrico, é apresentada, conforme Tabela 4.2, uma proposta de fatores experimentais e variáveis de resposta.

TABELA 28 - Proposta de fatores experimentais e variáveis de resposta

Fatores	Respostas
Peso transportado níveis: médio, leve e pesado	Rendimento (kWh/km)
Distância percorrida níveis: x km, y km e z km	Autonomia (km)
Tipo de percurso níveis: urbano e rodoviário (todos com a/cive)	Estado da carga da bateria (%)
	Tempo de recarga (minutos)

Para a Kombi, é planejado realizar estes ensaios em trajetos urbanos. Cada variável resposta depende de dois fatores experimentais e, portanto, o experimento fatorial completo é apropriado para medir e testar a significância do efeito dos fatores, e suas interações. No início de cada percurso (ensaio) a bateria do veículo elétrico deverá estar completamente carregada, o estado de carga do banco de baterias deverá ser 100%. Ao final de cada percurso devem ser registrados o consumo de eletricidade (kWh), o estado da carga (%) e também o tempo necessário para carregar completamente a bateria.

Com relação aos níveis do fator peso transportado (leve, médio e pesado), ressalta-se que todos os ensaios com o veículo em movimento serão realizados com no mínimo duas pessoas: um motorista e um acompanhante.

Quanto aos testes gerais, devem ser realizados com o veículo em dinamômetro sem carga. Inicialmente, os dispositivos de aquisição de dados devem ser programados para verificação dos diversos componentes do circuito elétrico relacionados ao acionamento do motor. As grandezas a serem medidas são as seguintes:

- Tensão AC na entrada de alimentação do motor;
- Tensão DC na entrada de alimentação do inversor;
- Frequência;
- Corrente AC na entrada de alimentação do motor;

- Corrente DC na entrada de alimentação do inversor.

Os dispositivos para aquisição de dados citados anteriormente deverão permanecer realizando a aquisição de dados durante todos os testes que serão realizados para verificação do desempenho do veículo.

A aquisição de dados durante os testes de desempenho deve ser simulada, inicialmente, com o veículo em um dinamômetro; devem ser realizadas com uma taxa de aquisição por períodos de 1 segundo, sendo previstas as seguintes medições:

- Velocidade máxima;
- Tempo de aceleração;
- Tempo de cruzeiro;
- Tempo de costeamento;
- Tempo frenagem;
- Tempo de parada;
- Tempo total de cada teste;
- Torque da Roda (Nm);
- Torque do Motor (Nm);
- Potência Média (kW);
- Energia Fornecida pela Bateria (kWh).

As simulações em dinamômetro devem prever as seguintes condições:

- Deslocamento no plano sem vento com Velocidade Constante 50 km/h e trecho de 1.050 m;
- Deslocamento no plano sem vento partindo do repouso com aceleração de 1 m/s² e atingindo Velocidade Máxima de 50 km/h no trecho de 1.050 m;
- Deslocamento sem vento em alicive de 13 graus ("grade" 23,09%) de 40 m partindo do repouso e atingindo a Velocidade de Cruzeiro de 20 km/h;
- Deslocamento sem vento partindo do repouso e alcançando Velocidade de Cruzeiro de 80 km/h em percurso de 1.050m.

As principais variáveis para serem analisadas, relacionadas ao sistema de propulsão, durante estes testes são:

- Torque da roda (Nm);
- Torque do motor (Nm);
- Potência média (kW);
- Energia fornecida pela bateria (kWh).

Todos estes ensaios realizados em dinamômetro deverão ser repetidos com o veículo operando em condições reais, onde os percursos sejam similares às condições estabelecidas para realização dos testes.

Limitações previstas

É necessário que os dispositivos de controle estejam programados para as seguintes limitações:

- Da rotação e da potência, para evitar esforços excessivos nos componentes mecânicos e elétricos do sistema de propulsão;
- Da corrente elétrica por fase, não permitindo que a mesma ultrapasse 70A, que é a corrente máxima admitida pelo motor;
- Da temperatura do motor, do inversor e das baterias, pois quando elevadas prejudicam de maneira significativa o funcionamento do sistema.

Além dos fatores já relacionados acima, que dizem respeito aos controles principais, é importante observar outros efeitos que poderiam influenciar o resultado do testes dificultando a execução ou introduzindo erros, entre eles:

- As vibrações;
- As excentricidades;
- O sincronismo;
- As condições ambientais;
- As interferências magnéticas, caso possível, devem ser monitoradas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Sendo a conversão de veículos elétricos no Brasil uma atividade econômica promissora e também em prol da conservação do meio ambiente, à medida que os veículos mais antigos, com fatores de emissão elevados, passam a funcionar de forma a melhorar a qualidade de vida, a proposta deste trabalho representa uma necessidade atual.

Todavia, há dificuldade para conversão de veículos elétricos empregando componentes do mercado nacional, uma vez que no Brasil a produção de dispositivos ou equipamentos sofisticados, se comparados aos produzidos em outros países, ainda é incipiente, visto que a legislação automotiva atual não contempla os benefícios da tecnologia veicular elétrica. Como exemplo, pode-se citar o caso das baterias avançadas ZEBRA, Lítio-ion e Ni-MH. As baterias de fabricação nacional encontradas comercialmente são do tipo chumbo-ácidas e, por serem pesadas, fazem com que os projetos de conversão estejam sujeitos a restrições de espaço e, conseqüentemente, de autonomia.

No que tange aos motores elétricos e controles de velocidade, também há escassez de fabricantes dedicados ao segmento de motores de corrente contínua, entretanto, motores de corrente alternada de indução são fartamente encontrados no mercado nacional. Um ponto importante observado e que vale destacar é que tanto os motores de CC quanto os motores de CA, em geral, disponíveis são componentes voltados para aplicações industriais e, portanto, há necessidade de adaptações para os projetos de conversão. Este fator dificulta a retirada da caixa de câmbio original do veículo a combustão interna, visto que os torques dos motores industriais são inferiores às necessidades do veículo a tração elétrica.

É válido observar, pelo histórico das conversões realizadas, que no sentido de torná-las mais acessíveis foram empregados, no exterior, motores de CC e baterias chumbo-ácidas tracionárias. Esta associação se mostra interessante devido à acomodação da tensão do motor, que, em geral, é da ordem de 36, 48 e 96 V em relação aos módulos das baterias, cujos valores são 6 e 8 V.

De acordo com o exposto, o veículo a tração elétrica é viável economicamente, salvo as restrições descritas, conforme pretendido no início deste trabalho.

A Kombi convertida poderá ser utilizada como uma plataforma de testes de componentes e novos dispositivos desenvolvidos. Recomenda-se, portanto, a continuidade deste trabalho através do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos da Faculdade de Engenharia da UERJ e do Núcleo de Tecnologia Automobilística – NTA do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET / RJ. A realização do trabalho de conversão da Kombi constitui um experimento no qual foi possível a identificação das dificuldades neste tipo de projeto, inclusive no que tange ao licenciamento dos veículos convertidos.

Em consonância com os objetivos pretendidos, verifica-se como necessário que sejam estabelecidas políticas públicas, bem como incentivos fiscais, para os veículos elétricos, especialmente, com relação às seguintes operações:

- Produção e comercialização de veículos;
- Fabricação de dispositivos e componentes para veículos elétricos;
- Importação de equipamentos e máquinas para o desenvolvimento de veículos elétricos no Brasil;
- Redução de tarifas de energia elétrica para recarga de veículos elétricos;
- Nacionalização de tecnologia para equipamentos e máquinas com o objetivo de desenvolvimento de veículos elétricos no Brasil.

Agregando aos valores citados, a conversão de veículos elétricos demonstrou um potencial de aproveitamento de frota desativada mediante uma avaliação econômica prévia e da aplicação que venha a ser escolhida. Este aspecto constitui-se por si só numa perspectiva interessante para novos empreendimentos que propiciem o transporte limpo de pessoas e cargas.

Como recomendação, devem ser elaborados estudos e pesquisas voltados especificamente para:

- Desenvolvimento de motores a serem aplicados em veículos elétricos, observando características específicas como peso, volume, torque, velocidade inicial e velocidade final;
- Desenvolvimento, no Brasil, de baterias avançadas;
- Atualização da legislação brasileira, visando o estabelecimento de políticas públicas que contemplem os veículos elétricos;
- Estabelecimento de normas técnicas para veículos elétricos;
- A utilização da Kombi, ou veículo elétrico similar, para transporte de alunos, professores e servidores, fazendo o circuito UERJ (Maracanã), UERJ (São Cristóvão), CEFET (Maria da Graça), UERJ (Maracanã), fortalecendo a aproximação institucional e multidisciplinar entre as equipes dessas instituições.

REFERÊNCIAS

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

BRANT, Bob. *Build Your Own Electric Vehicle*. McGraw-Hill Professional, 1993. ISBN 0830642315.

Características e Especificações de Motores de Corrente Contínua e Conversores CA/CC. WEG Indústrias S.A. Disponível em: <<http://www.weg.net/br>>. Acesso em: (25/10/2008).

CARVALHO, Marcos José Ferreira. *Avaliação da conformidade de veículos terrestres: análise metrológica e modernização de um sistema para medição de velocidade*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado PUC-Rio, 2004.

CHAN, C.C.; CHAU, K.T. *An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 44, 1997.

CHAU, K.T.; WANG, Zheng. *Overview of power electronic drives for electric vehicles*. Hong Kong, 2005.

DIAS, J.A. Siqueira et al. *Desenvolvimento de um kit para conversão de veículos com motor a combustão em elétricos*. 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos a Bateria, Híbridos e de Célula Combustível, INEE e ABVE, Centro Cultural Light. Rio de Janeiro, 2007.

DUARTE, Daisy Lucid; PECORELLI PERES, L.A. Emissões atmosféricas provocadas por motocicletas e subsídios para os ensinamentos e discussões de educação ambiental relacionadas com os meios de transporte. V Fórum Ambiental - Políticas Públicas, Educação e Meio Ambiente: os desafios no contexto universitário, UERJ - Rio de Janeiro, 2006a.

_____. Reduzindo as emissões com uso de veículos elétricos de duas rodas. 4º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos, INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, SENAI – São Bernardo do Campo – SP, 2006b.

GURGEL 800. Veículos Gurgel. Disponível em: <<http://www.gurgel800.com.br/>>. Acesso em: (20/10/2008).

HOLLANDA, Jayme Buarque de. *Salão do Automóvel de Paris e os veículos elétricos*. Rio de Janeiro, 2008. 2p. Disponível em: <www.abve.org.br>. Acesso em: (25/11/2008).

HOLMAN, W.J. *Experimental methods for engineers*. Seventh Edition Gajda. Edition McGraw-Hill. 2001.

KEOUN, Bradley C. *Designing An Electric Vehicle Conversion*. Fort Lauderdale, FL, EUA, 1995. <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=3888>

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

MES-DEA. History. Disponível em: <http://www.cebi.com/cebi/>. Acesso em: (25/11/2008).

MORAES, L. B. C de. *Tração elétrica como alternativa energética: uma proposta para a conversão de veículos automotivos de uso urbano*. Dissertação de mestrado, FEEC/Unicamp, 2007.

NUNES Jr, Antonio. Carga tributária prejudica vendas de veículos elétricos. Assembleia da ABVE 18/04/08. Disponível em: <http://www.abve.org.br/destaques/2008/>. Acesso em: (25/11/2008).

PEÇANHA, Marcus Lellis P.; PECORELLI PERES, Luiz A.; FERREIRA, Adérito Marques. *Experiência de recarga de moto elétrica através de rede elétrica local e de célula fotovoltaica – Análise comparativa sob o ponto de vista de geração de harmônicos*. VE 2007 – 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos a Bateria, Híbridos e de Célula Combustível, INEE e ABVE, Centro Cultural Light – Rio de Janeiro, RJ, 2007.

PECORELLI PERES, L.A. *Veículos Elétricos: Benefícios ambientais e energéticos*. CD, Rio de Janeiro: Associação Cultural e de Pesquisas Noel Rosa, 2003a. ISBN: 85-89640-01-9.

_____, L.A.; ROSSO, T.; MOZART, P. Subsídios metodológicos para a avaliação das emissões anuais de veículos leves em regiões metropolitanas, 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC, Brasil, 2003b.

_____, L.A.; et al. *Nota técnica preliminar de análise de desempenho*. GRUVE – Grupo de Estudos de Veículos da UERJ. Rio de Janeiro, 2007a.

_____, L.A.; et al. *Estudos Realizados para o Estabelecimento de Metodologia de Análise e Avaliação de Desempenho de Veículos Elétricos*. P&D Revista de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL; Nº 3, ANEEL, 2009 (a ser publicada).

_____, Luiz A.; HORTA, Luiz A.N.; LAMBERT TORRES, Germano. *Influências Sobre os Sistemas de Energia com a Introdução dos Veículos Elétricos na Sociedade*. III Congresso Latino-Americano Geração Transmissão de Energia Elétrica, Campos do Jordão, SP, Brasil, 1997.

_____; HORTA, Luiz A.N.; LAMBERT TORRES, G. *Analysis and Discussion on Energy Supply to Non-Road Electric Vehicles in Brazil*. IEEE Power Engineering Society – T&D 2002 Latin America Conference, São Paulo – Brazil, 2002.

_____, Luiz A.; COSTA, Washington et al. *Análise e estudos da conversão de uma Kombi para tração elétrica*. Projeto conjunto da UERJ e CEFET/RJ. VE 2007 – 5º

Seminário e Exposição de Veículos Elétricos a Bateria, Híbridos e de Célula Combustível, INEE e ABVE, Centro Cultural Light – Rio de Janeiro – RJ, 2007b.

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.

_____; HORTA, Luiz A.N.; LAMBERT-TORRES, G. *Considerations about Electric Vehicles Impacts on Daily Load and Environment*. In *Advances in Physics, Electronics and Signal Processing Applications*, ed. World Scientific Engineering Society, 2000b, ISBN: 960-8052-17-3.

_____; PINHEIRO, Fabiano Alves; SILVA, Mariana Dias. *Disseminação dos Conhecimentos sobre os Benefícios da Utilização de Veículos Elétricos pela Sociedade e as suas Relações com o Meio Ambiente e a Energia*; Interagir: Pensando a Extensão; No 6, UFF; Agosto-dezembro de 2004; ISSN 15198847.

PESSANHA, Jose Francisco M.; PECORELLI PERES, Luiz A. *Avaliação de Desempenho de Veículos Elétricos em Frotas de Empresas Distribuidoras: Uma Proposta para o Planejamento Experimental*. IV Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - IV CITENEL, Araxá, Minas Gerais, Brasil, 2007.

PROJETO VEÍCULO ELÉTRICO. Descreve o projeto sobre veículos elétricos desenvolvido pela Itaipu Binacional em parcerias com outras empresas. Disponível em: <<http://www2.itaipu.gov.br/ve/>>. Acesso em: (25/07/2008).

QUATRO RODAS. Clássicos brasileiros. Disponível em: <<http://quattrorodas.abril.com.br>>. Acesso em: (25/11/2008).

Anexo A - Leis de incentivo à utilização de veículos elétricos

Estados isentos do IPVA:

- Ceará (Lei 12.023 - art. 4, IX - veículos movidos a motor elétrico)
- Maranhão (Lei 5.594 - art. 9, XI - veículos movidos a força motriz elétrica)
- Pernambuco (Lei 10.849 - art. 5, XI - veículo movido a motor elétrico)
- Piauí (Lei 4.548 - art. 5, VII - veículo movido a motor elétrico)
- Rio Grande do Norte (Lei 6.967 - art. 8, XI - veículos movidos a motor elétrico)
- Rio Grande do Sul (Lei 8.115 - art. 4, II - ... de força motriz elétrica)
- Sergipe (Lei 3.287 - art. 4, XI - veículos movidos a motor elétrico)

Estados com alíquota do IPVA diferenciada:

- Mato Grosso do Sul (Lei 1.810 - O art. 153 prevê a possibilidade do Poder Executivo reduzir em até 70% o IPVA de veículo acionado a eletricidade)
- Rio de Janeiro (Lei 2.877 - O inciso IV do art. 10 estabelece a alíquota de 1% para veículos que utilizem energia elétrica, alíquota essa 75% inferior à dos automóveis a gasolina)
- São Paulo (Lei 6.606 - O inciso III do art. 7 estabelece a alíquota de 3% para automóveis de passeio, de esporte, de corrida e camionetas de uso misto movidos a eletricidade, alíquota essa 25% inferior à dos automóveis a gasolina).

Fonte: Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE)

Anexo B - Dados da Kombi

Veículo: Volkswagen Kombi

- Dados Legais:

Ano / Modelo: 1982/1982

Nº do Chassi original: BH 734026

Licença original: LGH-1205 (XV-1205)

Proprietário original: Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação
(378257/0001-81)

Cor: Branca (denominação de fábrica: Branco Lótus)

1 - Carroceria:

Medidas externas:

Distância entre eixos: 2.400 mm

Bitola dianteira / traseira: 1.387 / 1.420 mm

Comprimento: 4.397 mm

Largura: 1.746 mm

Altura: 1.912 mm; Altura livre do solo (arco): 200 mm; Altura do assoalho ao solo: 473 mm

2 - Compartimento de Carga:

Comprimento: 1.855 mm

Largura: 1.535 mm

Altura: 1.400 mm

Peso líquido / Tara: 1.080 kg

Carga útil: 1.075 kg

Peso total admissível / PBT dianteiro / traseiro: 980 / 1.210 kg

Coeficiente de arrasto aerodinâmico: 0,43

3 - Conjunto Motriz:

Motor original:

Número: UK 0140377

Combustível: Álcool

Cilindrada: 1.584 cm³

Diâmetro do cilindro x curso do pistão: 85,5 x 69

Razão de compressão: 11:1

Potência máxima (RPM): 60 cv / 44 Kw (4.600)

Força máxima: 118 Nm (2.600)

Avanço de ignição: 15 (inicial)

Ângulo de permanência (ignição eletrônica – motor quente):

1.500 rpm: 43 +/- 9

2.000 rpm: 49 +/- 6

3.000 rpm: 55 +/- 5

4.000 rpm: 58 +/- 5

Rotação de marcha-lenta: 950 a 1.050 rpm

Afastamento entre eletrodos / velas: 0,6 a 0,8 mm / W6D (Bosch) e BP6ES (NGK)

Índice de CO: 2,5 a 3,5 %

Volume da câmara de combustão: 39,6 cm³ (total)

Alimentação por dois carburadores Solex H32PDSIT de corpo simples

Cárter: 2,5 litros

Reservatório de combustível: 47 litros

3.1 - Transmissão:

Relação de transmissão:

1^a 1: 3,80

2^a 1: 2,06

3^a 1: 1,32

4^a 1: 0,88

Ré 1: 3,88

Diferencial: 1: 5,143

Cárter: 2,5 litros

Direção:

Giro do volante, batente a batente: 3,5

Diâmetro de curva: 12 m

Anexo C – Lista dos materiais utilizados na conversão da Kombi

Projeto de Conversão de Kombi para Tração Elétrica				
REF.	QTDE	ITEM WEG	DESCRIÇÃO	FABRICANTE
P5	1	EOF227A105	AMPERIMETRO ANALOGICO, BOBINA MOVEL, +-1,5%, SINAL DE ENTRADA: (-)60-0-(+)60MV, ESCALA: (-)120-0-(+) 120A, DEFLEXAO DO PONTEIRO: 240 GRAUS, MODELO: BK 72, POSICAO DE MONTAGEM: 3 D (ANGULO < 90 GRAUS)	KRON
CABO	25	4.100.824	CABO COFISIL ST 50MM2 AZ 600V 200°C, UL	COFIBAM
CABO	20		CABO COFISIL ST 16MM2 AZ 600V 200°C, UL	COFIBAM
CABO	2	EOF227A200	CABO PARA ENCODER FOG-10	TEC-MASTER
FC1;FC2	2	EOF227A08	CHAVE FIM DE CURSO, SERIE "MW", TIPO MW 1 J1, COM CONTATO SPDT	KAP
K2	1	.035502254	CONTATOR TRIPOLAR 110-125VCC TIPO: CWM105.11	WEG
P/K2	1	.035503105	BLOCO DE CONTATO NA TIPO: BC3XMF10 1NA	WEG
P/K2	1	.035503108	BLOCO DE CONTATO NF TIPO: BC3XMF01 1NF	WEG
K1	1	.035502177	CONTATOR TRIPOLAR 125VCC TIPO: CWM9.10	WEG
P/K1	1	.035500858	FILTRO SUPRESSOR DE RUÍDO TIPO: BAMDI 10 12-600VCC	WEG
P/K1	1	.035503105	BLOCO DE CONTATO NA TIPO: BC3XMF10 1NA	WEG
P/K1	2	.035503108	BLOCO DE CONTATO NF TIPO: BC3XMF01 1NF	WEG
A3	1	EOF227A100	CONVERSOR CHAVEADO DC/DC, ENTRADA: 180-300VCC, SAIDA 12VCC-20A, LINHA: CHMC NOTA: 1)OS CIRCUITOS IMPRESSOS DEVEM SER TROPICALIZADOS 2)O CONVERSOR DC/DC SERA UTILIZADO EM UM AUTOMOVEL ELETRICO, PORTANTO, PREVER CUIDADOS RELATIVOS A VIBRACAO	MCE
A1	1	417106718	CONVERSOR ESTATICO TIPO: CFW090086T2223POPIZ (VE20.01)	WEG
F1; F2	2	0	FUSIVEL NH ULTRA-RÁPIDO 125A TIPO.: Y320365	FERRAZ/LINDNER
P/ F1;F2	2	.035501890	BASE NH BINH 1 35-250°	WEG
HM	1	417102038	KIT PARA IHM-09 KMR-CFW-09	WEG
P/HM	1	.0307.8881	CABO HMI REMOTA CFW-09 02M	TEC-MASTER
R1	1		POTENCIOMETRO VEICULAR, DIAMETRO 31,5MM (FIXAÇÃO 2x M4), IP64, MODELO: PMR 403 A SH, 3,85 KILO OHM	MCB
R50; R51	2	.0208.0680	RESISTOR DE FIO 10R, +-5%, 100W	ELETRON
R3	1	EOF227A104	SHUNT FORMA A2, 60mV, 120A	KRON
P6	1	EOF227A08	VOLTIMETRO ANALOGICO, BOBINA MOVEL, +-1,5%, SINAL DE ENTRADA: 0-300VCC, ESCALA: 0-300VCC, DEFLEXAO DO PONTEIRO: 240 GRAUS, MODELO: BK72 POSICAO DE MONTAGEM: 3 D (ANGULO < 90 GRAUS)	KRON
	1		BOBINA DE INDUÇÃO MONOFÁSICA, 10A, INDUTÂNCIA 12mH, 60HZ CLASSE B	BLUTRAFOS
	1	417113008	CMW-02 17/380-V3	WEG
	1	.035504493	CAIXA TERMOPLASTICA VAZLA CTV-08 SEM BOTÕES	WEG
	1	.035506255	CAIXA TERMOPLASTICA VAZLA CTV-10 SEM BOTÕES	WEG
M1	1	10582191	MOTOR 30 CV 6P 180L - WMAGNET	WEG

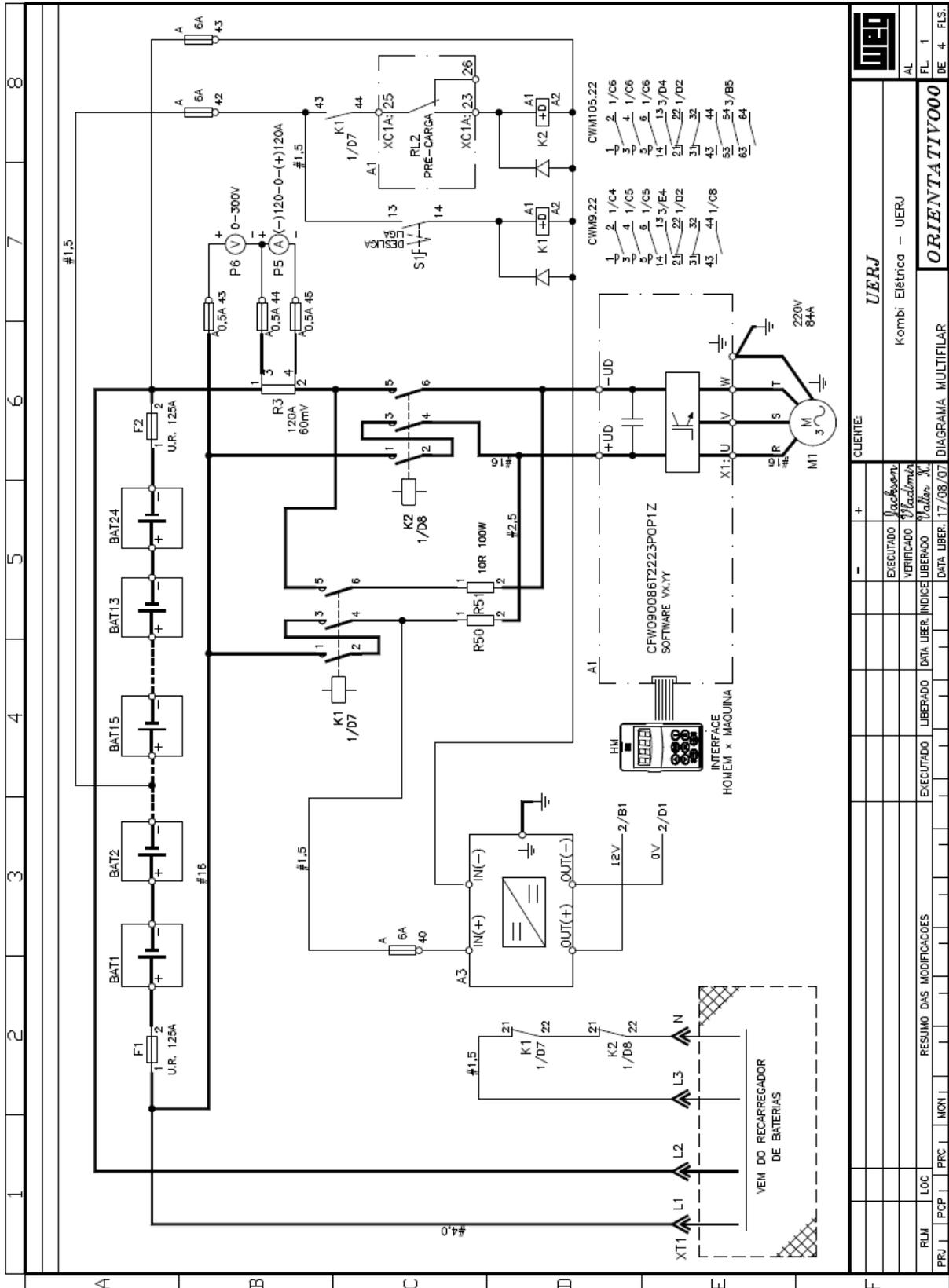
Anexo D – Esquemas elétricos do sistema de propulsão da Kombi

Parte (I) – Orientações gerais

		WEG INDUSTRIAS – AUTOMAÇÃO		
<p>ATENÇÃO:</p>				
 EMC	<p>1. LIGAR O MÓDULO DESUMIDIFICADOR (QUANDO EXISTIR) A UMA FONTE INDEPENDENTE, MESMO ANTES DE ENERGIZAR O PAINEL, PARA EVITAR FORMAÇÃO DE UMIDADE EM SEU INTERIOR.</p>			
	<p>2. EXECUTAR CONVENIENTE ATERRAMENTO DO PAINEL. O SISTEMA DE ATERRAMENTO DEVE ESTAR CONFORME IEC 298 E IEC 61000-5-2 (EMC). A RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DEVERÁ SER <math><100\Omega</math>. O CABO NEUTRO NÃO PODE SER UTILIZADO PARA ATERRAR O PAINEL. A MALHA DA FIAÇÃO BLINDADA DE SINAL DEVE SER ATERRADA EM APENAS UMA DAS EXTREMIDADES.</p>			
	<p>3. COM O OBJETIVO DE EVITAR INTERFERÊNCIAS EM EQUIPAMENTOS SENSÍVEIS (TERMOPARES, PCs, CLPs, REDES) A FIAÇÃO DE MOTORES/SERVOMOTORES (EXTERNA AO PAINEL) QUE SÃO ACIONADOS POR INVERSORES DEVE ESTAR INTERNA A UM ELETRODUTO METÁLICO OU SEAL TUBE (INCLUINDO FIO TERRA) EXCLUSIVO PARA CADA MOTOR. O ELETRODUTO DEVERÁ SER ATERRADO EM AMBAS AS EXTREMIDADES</p>			
	<p>4. THE EARTHING/GROUNDING SYSTEM MUST BE ACCORDING IEC 298 AND IEC 61000-5-2 (EMC).</p>			
	<p>5. AO REALIZAR UMA MANUTENÇÃO, É OBRIGATÓRIO DESLIGAR A CHAVE SECCIONADORA OU DISJUNTOR PRINCIPAL.</p>			
<p>CLIENTE: <u>WEG INDÚSTRIAS LTDA –</u> <u>AUTOMAÇÃO</u></p>				
<p>SISTEMA: <u>Kombi Elétrica – UERJ</u></p>				
<p>PROJETO Nº : <u>ORIENTATIVO.0800</u></p>				
<p>STATUS: <input type="checkbox"/> CONHECIMENTO <input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> AS BUILT <input type="checkbox"/> MONTAGEM <input type="checkbox"/> TESTE <input type="checkbox"/> _____</p>				
COD.	DOCUMENTO	Nº	Nº FLS.	OBS.
CR	CONTROLE DE REVISÃO DE FLS.			
EL	DIAGRAMA(S) ELÉTRICO(S)	ORIENTATIVO	04	
ME	DESENHO(S) MECÂNICO(S)	ORIENTATIVO	01	
RM	RELAÇÃO DE MATERIAIS			
RA	RELAÇÃO DE AVULSOS	ORIENTATIVO	01	
RB	RÉGUA(S) DE BORNES			
CP	CONJUNTO DE PLAQUETAS			
-	FOLHA DE DADOS DO MOTOR			
LA	LISTA DE AJUSTAVEIS			
SB	SIMBOLOGIA			
DATA: 18/07/08		PROJETO: Eduardo		LIBERAÇÃO: Valter K.

Anexo D – Esquemas elétricos do sistema de propulsão da Kombi

Parte (II) – Diagrama do circuito de potência



		ORIENTATIVO000	
AL	Kombi Elétrica - UERJ		
FL 1	DE 4 FLS.		
CLIENTE	UERJ		
EXECUTADO	VERIFICADO	LIBERADO	DATA LIBER.
Valdeir	Valdeir	Valdeir	17/08/07
RESUMO DAS MODIFICAÇÕES			
PRJ	PCP	PRC	MON
DIAGRAMA MULTIFILAR			

Anexo D – Esquemas elétricos do sistema de propulsão da Kombi

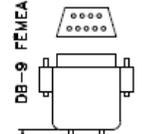
Parte (VII) – Especificação das ligações dos cabos e conectores

12345678

MCN-N6 FEMEA (DYNAPAR) / MS3106F18-1S FEMEA (AMPHENOL)



DB-9 FEMEA

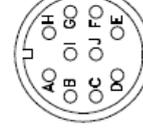


3 METROS

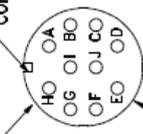
TERMOENCOLHIVEL

ITEM: EOF227A200

VISTA SUPERIOR-EXTERNA DO CONECTOR



VISTA DOS PINOS DE SOLDA

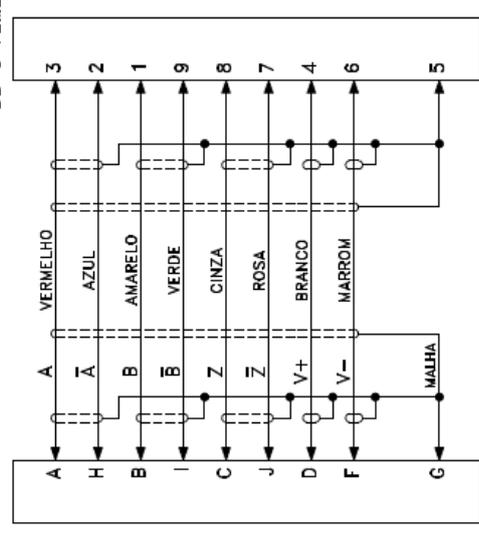


GUIA DE CONEXAO

PINOS FEMEA

FEMEA

MCN-N6 FEMEA / MS3106F18-1S FEMEA



DB-9 FEMEA

LISTA DE MATERIAIS

NARRATIVA	QTDE
CABO BLINDADO DIADUR PARA ENCODER 9 POLOS REF.: 129 570 1GZ - FABRICANTE: IFE REF.: 106 43000 - FABRICANTE: SAME	3 m
CONECTOR 10 PINOS TIPO: MCN-N6 FEMEA DYNAPAR/VEEDER ROOT OU CONECTOR 10 PINOS TIPO: MS3106F18-1S FEMEA AMPHENOL	01 PC
TERMOENCOLHIVEL BRC 12,7/6,4. PRETO REF.: BRC12,7 RAYCHEM LVR4127 HELLERMANN	50mm
TERMOENCOLHIVEL BRC 3,2/1,6 PRETO REF.: BRC32 RAYCHEM LVR32 HELLERMANN	250mm
CONECTOR DELTA 9P-FEMEA	01 PC
CAPA PRENSA CABO DELTA 9P	01 PC
PARAFUSO DE RETENCAO	01 PC
ETIQUETA AUTO ADESIVA 10x25mm	01 PC

OBS.: COLOCAR ETIQUETA NA CAPA DO CONECTOR DB-9 LADO INVERSO DOS PARAFUSOS COM O SEGUINTE DADO:
XC9

EXECUTADO *Jacobson*

VERIFICADO *Jacobson*

LIBERADO

DATA LIBER. 20/09/07

RESUMO DAS MODIFICACOES

PRJ | LOC | PCP | PRC | MON |

CLIENTE **UERJ**

Kombi Elétrica - UERJ

ORIENTATIVO000

AL FL. 1 DE 1 FLS.