

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE PLATAFORMA DE ANÁLISE DE CONVERSÃO DE TRAÇÃO DE
VEÍCULOS COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA TRAÇÃO
ELÉTRICA**

MARCOS DE OLIVEIRA COSTA

ORIENTADOR: RUDI HENRI van ELS

COORIENTADOR: CARLOS HUMBERTO LLANOS QUINTERO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM SISTEMAS MECATRÔNICOS**

PUBLICAÇÃO: ENM.DM – 081/2015

BRASILIA/DF: FEVEREIRO - 2015
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJETO DE PLATAFORMA DE ANÁLISE DE CONVERSÃO DE
TRAÇÃO DE VEÍCULOS COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA
TRAÇÃO ELÉTRICA**

MARCOS DE OLIVEIRA COSTA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA-UNB, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM SISTEMAS MECATRÔNICOS.**

APROVADA POR:

Prof. Dr. Rudi Henri van Els, UnB (Orientador)

Prof. Dr Daniel Mauricio Muñoz Arboleda, UnB (Examinador Interno)

Prof. Dr. Henrique Gomes de Moura, UnB (Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 12 DE FEVEREIRO DE 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

COSTA,, MARCOS DE OLIVEIRA

Projeto de plataforma de análise de conversão de tração de veículos com motor a combustão interna para tração elétrica. [Distrito Federal] 2015.

xvii, 96p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2015).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Veículo elétrico

2. Conversão

3. Tração elétrica

4. Plataforma de análise

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSTA, M. DE O. (2015). Projeto de plataforma de análise de conversão de tração de veículos com motor a combustão interna para tração elétrica. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Publicação ENM.DM – 081/15, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 96p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Marcos de Oliveira Costa

TÍTULO: Projeto de plataforma de análise de conversão de tração de veículos com motor a combustão interna para tração elétrica.

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Marcos de Oliveira Costa

QE 19 Conj. E Guará-II

CEP 71050-053 Distrito Federal

Dedico este trabalho a minha esposa Cida e
aos meus filhos Arthur e Daniel, pela
paciência, apoio e compreensão durante
toda a minha jornada.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Dr. Rudi van Els, agradeço pelo apoio e incentivo.

Ao meu co-orientador, o professor Dr. Humberto Llanos pelo apoio e paciência durante todo o período de curso.

Agradeço também aos grandes amigos do Laboratório de Automotiva da FGA, aos alunos da disciplina Projeto Integrador II, que plantaram a semente desse trabalho, a empresa Barros Automóveis por ceder a estrutura para a primeira etapa da conversão, aos colegas do GRACO, aos alunos Fred Aragão e Felipe Soares pelo valioso e indispensável apoio.

Aos colegas do MCTI, Eduardo Soriano, Rafael Menezes, Pedro Borges, Joao Bin, José Silvério, Elzivir Guerra e todos os colegas da SETEC, ao grande companheiro José Manoel e aos colegas da GIZ.

Muito obrigado a todos!

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BMWi	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Energie</i>
C	Capacitor
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Unidade Central de Processamento
CV	Cavalo Vapor
D	Diodo
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DEMIC-FEEC	Departamento de Eletrônica e Microeletrônica
eNterop	Projeto de interoperabilidade de carros elétricos
ECE	<i>Urban Driving Cycles</i>
EUDC	<i>Extra-urban driving cycles</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FCEV	<i>Fuel Cell Vehicle</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
FEI	Faculdade de Engenharia Industrial
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
HIS	<i>Hardware-in-the-loop</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> (Transistor Bipolar de porta Isolada)

IHM/HMI	Interface Homem-Máquina
IP	Grau de Proteção Elétrica
ISET-Lib	Software de simulação de baterias de íons de lítio
IWES	<i>Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik</i>
NBR	Norma Brasileira
PC	<i>Personal Computer</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PNI	<i>Grid Integration Research</i>
PWM	Modelação por Largura de Pulso
R, S, T	Tensão trifásica de entrada
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SI	Sistema Internacional de Unidades
Systemc	<i>Test Centre for Intelligent Networks and Eletromobility</i>
TPE	<i>Electromobility Test and Proving Centre</i>
U, V, W	Tensão trifásica de saída
UL	Underwriters Certificação internacional
UnB	Universidade de Brasília
V2G	Vehicle-to-Grid

LISTA DE SIMBOLOS

Simbolo	Descrição	Unidade
“	<i>polegadas</i>	<i>Pol</i>
<i>a</i>	<i>Aceleração</i>	<i>m/s²</i>
<i>AC</i>	<i>Alternating Current (Corrente Alternada)</i>	<i>Vac</i>
<i>Af</i>	<i>Área frontal</i>	<i>m²</i>
<i>cc</i>	<i>Cilindrada</i>	<i>cm³</i>
<i>CC</i>	<i>Corrente contínua</i>	<i>A</i>
<i>Cn</i>	<i>Conjugado Nominal</i>	<i>Nm</i>
<i>Cp</i>	<i>Conjugado de Partida</i>	<i>Nm</i>
<i>Cr</i>	<i>Coefficiente de Resistência ao Rolamento</i>	
<i>cv</i>	<i>Cavalo Vapor</i>	<i>Cv</i>
<i>Cx</i>	<i>Coefficiente de Arrasto Aerodinâmico</i>	
<i>DC</i>	<i>Direct Current (Corrente Contínua)</i>	<i>A</i>
<i>F</i>	<i>Força</i>	<i>N</i>
<i>f</i>	<i>Frequência</i>	<i>Hz</i>
<i>FA</i>	<i>Força de Arrasto</i>	<i>N</i>
<i>Fad</i>	<i>Força Aerodinâmica</i>	<i>N</i>
<i>fb</i>	<i>frequência de base</i>	<i>Hz</i>
<i>Fi</i>	<i>Força de Inércia</i>	<i>N</i>
<i>Fp</i>	<i>Fator de Potência</i>	<i>Adimensional</i>
<i>FP</i>	<i>Fator de proteção</i>	
<i>Frr</i>	<i>Força de resistência ao rolamento</i>	<i>N</i>
<i>Ft</i>	<i>Força de Tração</i>	<i>N</i>
<i>g</i>	<i>Gramas</i>	<i>g</i>
<i>hp</i>	<i>Horse power</i>	<i>hp</i>
<i>I</i>	<i>Ampere</i>	<i>A</i>
<i>ic</i>	<i>Inércia do câmbio</i>	
<i>Id</i>	<i>Corrente de disparo</i>	<i>A</i>
<i>id</i>	<i>Inércia do diferencial</i>	
<i>In/Inom</i>	<i>Corrente Nominal</i>	<i>A</i>
<i>Ip</i>	<i>Corrente de partida</i>	<i>A</i>
<i>J</i>	<i>Momento de inércia</i>	<i>kg/m²</i>

<i>Jm</i>	<i>Inércia do motor</i>	<i>kg/m²</i>
<i>Jr</i>	<i>Inércia das rodas</i>	<i>kg/m²</i>
<i>Jt</i>	<i>Inércia da transmissão</i>	<i>kg/m²</i>
<i>K</i>	<i>Constante do motor elétrico</i>	
<i>k</i>	<i>Quilo (1x10³)</i>	<i>Constante</i>
<i>Kgf</i>	<i>Kilograma força</i>	<i>Kgf</i>
<i>Kgfm</i>	<i>Kilograma força metro</i>	<i>Kgfm</i>
<i>Kwh</i>	<i>Kilowatt hora</i>	<i>Wh</i>
<i>M</i>	<i>Massa</i>	<i>G</i>
<i>M</i>	<i>Momento</i>	<i>Nm</i>
<i>me</i>	<i>massa equivalente</i>	<i>g</i>
<i>mm</i>	<i>Milímetro</i>	<i>Mm</i>
<i>P</i>	<i>Potência</i>	<i>w</i>
<i>Pb</i>	<i>Potência de base</i>	<i>w</i>
<i>Pm</i>	<i>Potência no motor</i>	<i>w</i>
<i>Pr</i>	<i>Potência na roda</i>	<i>w</i>
<i>Qi</i>	<i>Resistência de inércia</i>	<i>Kg/m²</i>
<i>r</i>	<i>Raio</i>	<i>m</i>
<i>rd</i>	<i>raio dinâmico</i>	<i>m</i>
<i>Rpm</i>	<i>Rotações por minuto</i>	<i>Rpm</i>
<i>Rt</i>	<i>Relação de transmissão</i>	<i>Adimensional</i>
<i>S</i>	<i>Escorregamento</i>	<i>%</i>
<i>t</i>	<i>Tempo</i>	<i>s</i>
<i>T</i>	<i>Torque</i>	<i>Nm</i>
<i>Tco</i>	<i>Tempo de acostamento</i>	<i>s</i>
<i>Tb</i>	<i>Tempo de frenagem</i>	<i>s</i>
<i>To</i>	<i>Tempo ocioso</i>	<i>s</i>
<i>Tc</i>	<i>Tempo de cruzeiro</i>	<i>s</i>
<i>temp</i>	<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>
<i>Ti</i>	<i>Tempo ocioso</i>	<i>s</i>
<i>Tm</i>	<i>Tração no motor</i>	<i>Nm</i>
<i>Tr</i>	<i>Tração na roda</i>	<i>Nm</i>
<i>v</i>	<i>Velocidade</i>	<i>m/s</i>

V	<i>Volts</i>	V
V/f	<i>Relação tensão por frequência</i>	
V_b	<i>Tensão de base</i>	V
w	<i>Potência</i>	W
α	<i>Aceleração angular</i>	Rad/s^2
δ	<i>Momento equivalente</i>	kg/m^2
ϵ	<i>Energia</i>	<i>Joule</i>
η	<i>Rendimento</i>	<i>Adimensional</i>
η_t	<i>Rendimento</i>	<i>Adimensional</i>
θ	<i>inclinação</i>	<i>Graus (°)</i>
π	<i>Pi</i>	<i>Adimensional</i>
ρ	<i>Densidade do ar</i>	Kg/m^3
τ	<i>Trabalho</i>	Nm
Φ_m	<i>Fluxo magnético</i>	<i>Weber</i>
ψ	<i>Aclive</i>	<i>Graus (°)</i>
ω	<i>Velocidade angular</i>	Rad/s

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de motorização de veículo elétricos e híbridos	1
Figura 2 – Forças atuantes em um veículo em movimento em um active.....	11
Figura 3 – Transferência de movimento entre engrenagens.....	16
Figura 4 – Configurações possíveis de motor(s) elétricos na tração	20
Figura 5 – Gráfico tensão x Frequência.....	23
Figura 6 – Gráfico Torque x Frequência	24
Figura 7 – Gráfico Potência x Frequência	24
Figura 8 – Disposição de motor dianteiro transversal	29
Figura 9 - Cofre do motor onde será instalado o motor elétrico	31
Figura 10 - Vista Frontal do ponto onde será acoplado o motor elétrico com o flange	32
Figura 11 - Vista em corte carcaça do motor refrigerado a água	35
Figura 12 – Fluxo de água no sistema de arrefecimento de circulação forçada ar-água de um motor a combustão interna	37
Figura 13 - Detalhamento da flange	40
Figura 14 - Detalhamento do distanciador	41
Figura 15 - Vista explodida do motor elétrico com flanges e acoplamento	41
Figura 16 - Detalhamento do acoplamento.....	42
Figura 17 - Conjunto motor, flange, acoplamento e câmbio sendo montados	42
Figura 18 - Conjunto sendo fixado	43
Figura 19 – Diagrama dos componentes da banca de ensaios.....	44
Figura 20 – Trifilar das proteções da bancada de ensaios	46
Figura 21 – Quadro de comando elétrico	47
Figura 22 – Transformador da bancada de ensaios	48
Figura 23 – Diagrama de um inversor de frequência típico	49
Figura 24 – Tela do software Super Drive G2	50
Figura 25 – Foto da bancada elétrica montada	51

Figura 26 - Princípio de funcionamento do dinamômetro de Corrente de Foucault	53
Figura 27 – Dinamômetro no laboratório	55
Figura 28 – Tela do software DYNO MAX	56
Figura 29 – Diagrama de blocos do funcionamento do Dinamômetro (A) com software (B) caminho alternativo	57
Figura 30 – Esquemático da instrumentação no dinamômetro	58
Figura 31 – Célula de carga do dinamômetro	58
Figura 32 – Sensor indutivo do dinamômetro	59
Figura 33 – Diagrama da plataforma de ensaios	60
Figura 34 – Ilustração da disposição dos sensores	61
Figura 35 – Grafico da elevação da temperatura durante o ensaio.....	62
Figura 36 – Curva de Torque e Potência do veículo	63
Figura 37 - Ciclo de condução SAE J227a.....	66
Figura 38 - Fluxograma da rotina de ensaios	68
Figura 39 - Ciclo C SAE j227a - todos os parâmetros	70
Figura 40 - Ciclo C SAE J227a – Velocidade e Torque no Motor.....	71
Figura 41 - Ciclo C SAE J227a – Tensão e Corrente no Motor.....	72
Figura 42 - Ciclo C SAE J227a - Potência de saída no Motor	73
Figura 43 - Ciclo C SAE J227a – Potência consumida no Motor em Kwh	73
Figura 44 - Ciclo D SAE J227a – Todos os parâmetros.....	75
Figura 45 - Ciclo D SAE J227a – Velocidade e Torque no Motor	76
Figura 46 - - Ciclo D SAE J227a – Tensão e Corrente no Motor	77
Figura 47 - Ciclo D SAE J227a – Potência de saída no Motor	78
Figura 48 - Ciclo D SAE J227a – Potência consumida no Motor.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados comparativos de motores elétricos para tração.....	21
Tabela 2 - Características do Palio	28
Tabela 3 – Dados originais para conversão	29
Tabela 4 - Transmissão do Palio	30
Tabela 5 - Dados do motor elétrico escolhido	33
Tabela 6 – Vantagens do motor elétrico refrigerado a água.....	34
Tabela 7 – Dados de vazão e elevação de temperatura	35
Tabela 8 - Classificação de materiais e sistemas isolantes.....	38
Tabela 9 - Classes Térmicas	38
Tabela 10 - Composição da Temperatura em função da classe de isolamento	39
Tabela 11 – Dados do ensaio de torque e potência do veículo.....	64
Tabela 12 – Tempos do SAE J227a.....	67
Tabela 13 - Parâmetros do Ciclo	69
Tabela 14 - Dados obtidos no Ciclo C.....	74
Tabela 15 - Parâmetros do Ciclo	75
Tabela 16 - Dados obtidos no Ciclo D	79

RESUMO

PROJETO DE PLATAFORMA DE ANÁLISE DE CONVERSÃO DE TRAÇÃO DE VEÍCULOS COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA TRAÇÃO ELÉTRICA.

Autor: Marcos de Oliveira Costa

Orientador: Rudi Henri van Els

Programa de Pós-graduação em Sistemas Mecatrônicos

Brasília, 12 de fevereiro de 2015

Este trabalho demonstra o projeto e a execução da plataforma de análise de conversão de veículos, dotados originalmente com motores a combustão interna, para tração elétrica. A metodologia consistiu de uma revisão bibliográfica de aspectos teóricos pertinentes para embasar a conversão da tração de um veículo, seguida do projeto e da execução de uma bancada como fonte de energia elétrica e estrutura de controle para o motor elétrico. Posteriormente, um dinamômetro de rolos foi associado. Diversos equipamentos para quantificação e análise das grandezas torque, potência, rendimento e consumo, foram integrados à bancada e ao dinamômetro, compondo assim, uma plataforma de análise. Um veículo Fiat Palio, convertido com um motor elétrico trifásico de indução refrigerado a água foi analisado na plataforma através do ciclo da SAE J227a. Concluiu-se então, que a plataforma insere-se em um ambiente altamente propício, pois permite avaliar, sob diversos aspectos, os veículos elétricos convertidos. Essa funcionalidade terá papel fundamental na formação de estudantes de engenharia e no desenvolvimento de projetos acadêmicos para mobilidade elétrica.

Palavras-chave: veículo elétrico; conversão; tração elétrica; plataforma de análise.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A ANALYSIS PLATFORM TO ANALYZE THE TRANSFORMATION OF THE TRACTION OF A VEHICLE WITH INTERNAL COMBUSTION ENGINES TO ELECTRIC TRACTION.

Author: Marcos de Oliveira Costa

Supervisor: Rudi Henri van Els

Post-graduate program in Mechatronic Systems

Brasilia, February 12, 2015

This work demonstrates the design and implementation of vehicle conversion analysis platform, equipped originally with internal combustion engines to electric traction. The methodology consisted of a literature review of relevant theoretical aspects to support the conversion of traction of a vehicle, then the design and implementation of a bench as a source of power and control structure for the electric motor. Later, a dynamometer rollers was associated. Miscellaneous equipment for measurement and analysis of magnitudes torque, power, income and consumption, were integrated into the bench and dynamometer, making thus an analysis platform. A vehicle Fiat Palio, converted a three-phase electric induction motor cooled water was analyzed on the platform through the SAE J227a cycles. It was therefore concluded that the platform is inserted in a highly supportive environment because it allows evaluating, in many ways, the converted electric vehicles. This functionality will have a key role in training of engineering students and developing academic projects for electric mobility.

Keywords: electric vehicle; conversion; electric traction, analysis platform.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA	3
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivos Gerais.....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS	7
1.4. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	7
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 VEÍCULOS CONVERTIDOS NO BRASIL	9
2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS DE FÁBRICA	10
2.3 FORÇA DE TRAÇÃO.....	10
2.3.1 Resistência de Aclive	12
2.3.2 Resistência de Inércia.....	13
2.4 CAIXA DE TRANSMISSÃO.....	16
2.5 MOTORES ELÉTRICOS	19
3 CONVERSÃO DO VEÍCULO	26
3.1 REQUISITOS.....	26
3.2 O VEÍCULO	27
3.2.1 Caixa de Transmissão.....	30
3.2.2 Espaço Disponível.....	31
3.3 ESCOLHA DO MOTOR ELÉTRICO.....	32
3.3.1 Motor Elétrico Refrigerado a Água.....	33
3.4 EXECUÇÃO DA CONVERSÃO	39
4 PROJETO E EXECUÇÃO DA BANCADA	44
4.1 SISTEMA ELÉTRICO DA BANCADA	45
4.2 QUADRO DE COMANDO	46
4.3 TRANSFORMADOR.....	47
4.4 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	48
5 INTEGRAÇÃO DO DINAMÔMETRO	52
5.1 DINAMÔMETROS.....	52

5.1.1 Dinamômetro De Correntes De Foucault.....	53
5.1.2 Dinamômetros De Corrente Alternada.....	54
5.1.3 Dinamômetros de Corrente Contínua.....	54
5.2 DINAMOMETRO DA PLATAFORMA	55
6 ENSAIO E ANÁLISE DOS DADOS	60
6.1 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA	60
6.2 ANALISE DE TORQUE E POTENCIA NO DINAMÔMETRO	63
6.3 CICLO DE ENSAIOS	64
6.3.1 Coleta de Dados	68
6.3.2 Ensaio do Veículo, Ciclo SAE J227a-C:.....	69
6.3.3 Ensaio do Veículo, CICLO SAE J227a-D	74
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	81
7.1 CONCLUSÕES	81
7.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	82
BIBLIOGRAFIA	84
APENDICE A - PROJETO ELÉTRICO DA BANCADA	88
APENDICE B – PROJETO ESTRUTURAL DA BANCADA	92
APENDICE C – PROJETO DO FLANGE DE ACOPLAMENTO	94

1 INTRODUÇÃO

Diminuir a dependência de combustíveis fósseis é de suma importância, dados do Banco Mundial de 2013 dão conta que o setor dos transportes contribui com 20 % de todas as emissões de CO₂ relacionadas com a energia, com crescimento de emissões de cerca de 1,7 % ao ano desde 2000, assim os veículos elétricos despontam como uma grande alternativa por todas as suas vantagens do ponto de vista ambiental, tecnológicos e de segurança energética. A questão que fica é, como efetivamente contribuir para o desenvolvimento da mobilidade elétrica?

O Veículo Elétrico pode ser definido como um veículo para transporte de passageiros ou cargas com pelo menos um motor elétrico no seu sistema de tração. A partir desta definição mais ampla, podemos incluir os veículos puros (EV), os veículos elétricos a bateria (BEV), os veículos elétricos híbridos (HEV) e veículos elétricos dotados de células de combustível a hidrogênio (FCEVs), alguns tipos de arranjos possíveis no uso de motores elétricos é mostrado na figura 1.

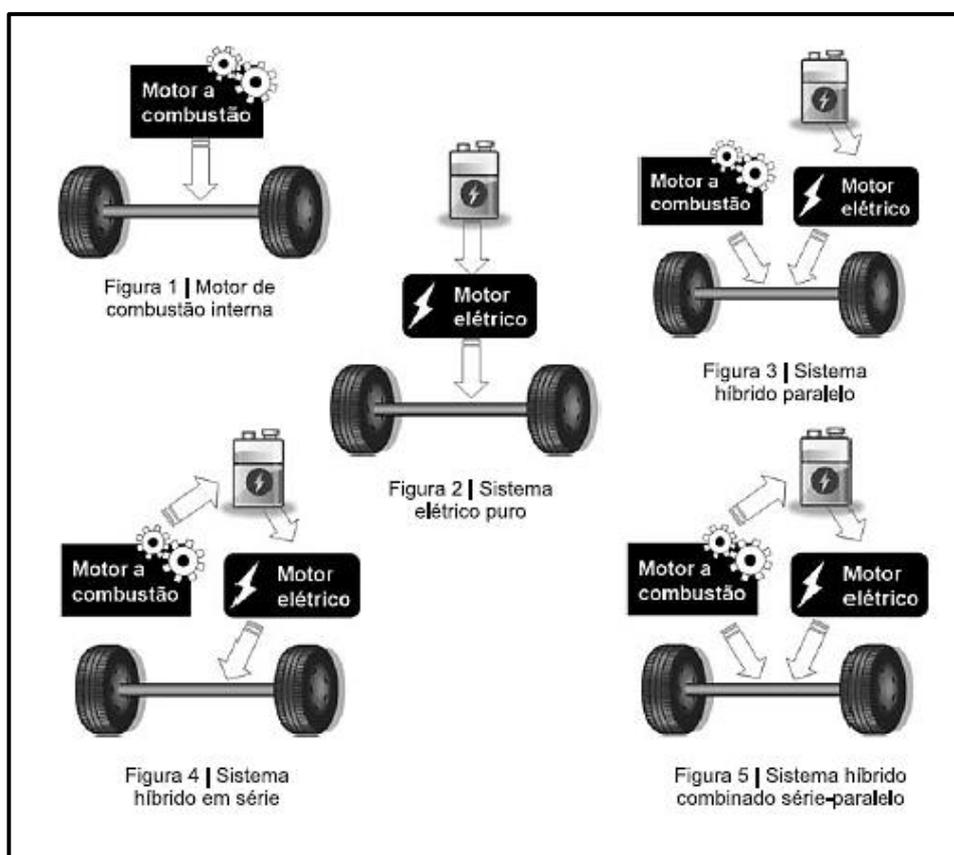


Figura 1 – Tipos de motorização de veículo elétricos e híbridos
Fonte: Castro, 2010

A conceituação do Veículo Elétrico é um assunto multidisciplinar que abrange amplos e complexos aspectos. No entanto, existem tecnologias de núcleo, como tecnologias de chassis e carrocerias, tecnologias de propulsão, uso, armazenamento e reabastecimento de energia, as quais permitem que um veículo possa ser projetado de fábrica ou convertido a partir de outro veículo já existente.

Nos dois casos existem vantagens e dificuldades. A opção de um projeto de fábrica no Brasil encontra entraves significativos em função do tratamento tributário que aumenta bastante o custo, por outro lado o mesmo propicia ganhos de otimização em várias partes do projeto. A conversão pode apresentar um custo sensivelmente reduzido com a aquisição de componentes de indústrias locais e o aproveitamento de vários componentes originais do veículo, mas pode ter aspectos de segurança diminuída.

Um importante detalhe para se projetar ou mesmo converter um veículo para tração elétrica é se ter em mente algumas características necessárias no quesito do motor elétrico a ser usado na aplicação, que são: (a) alta densidade e energia de torque; (b) larga faixa de velocidade, com torque alto a baixa velocidade e com torque baixo a alta velocidade; confiabilidade e robustez para atender as constantes partidas e paradas; (c) alta eficiência em larga faixa de velocidade e torque; (d) bom desempenho em regimes transitórios; (d) facilidade de controle. (CHAN, 1996).

Se fizermos uma análise, a conversão de veículos com motores a combustão interna para tração elétrica é mais atrativa do que adquirir um veículo elétrico produzido de fábrica. Impostos para veículos elétricos no Brasil, são extremamente elevados.

A conversão, desde que consiga reunir componentes produzidos no Brasil, tem custo menor que um veículo elétrico de fábrica. Mas temos que ter em mente que alguns detalhes de projeto tais como peso do motor elétrico, tamanho e peso do banco de baterias, volume do porta-malas e dimensões de uma forma geral do veículo a ser convertido pode implicar em diminuição da capacidade de carga e espaço para passageiros. Em se tratando de veículos elétricos de fábrica, todas essas questões podem ser avaliadas e prontamente modificadas. Um ponto importante se refere ao banco de baterias, pois as baterias de lítio, a melhor opção em relação a peso e potência, têm de ser importadas no Brasil.

O professor Illah Nourbakhsh junto com pesquisadores da Universidade Carnegie Mellon, desenvolveram o projeto ChargeCar Community Conversions onde avaliam

informações de necessidade diária de mobilidade de moradores de Pittsburg e a combinação de banco de baterias com supercapacitores gerenciados por uma sistema de controle com inteligência artificial no uso da energia. A conclusão é que a conversão hoje de veículos com motores a combustão interna é viável, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista de autonomia, atendendo as necessidades de locomoção das pessoas. Esta é válida mesmo frente aos veículos elétricos de fábrica, que tem ganhos incorporados ainda na fase de projeto.

Este trabalho propõe uma alternativa na avaliação da conversão de veículos originariamente concebidos com motores a combustão interna na tração para tração elétrica com o uso de motores de corrente alternada. Uma bancada como fonte de energia e um inversor de frequência aliada a um dinamômetro de rolos para ensaio e avaliação do veículo convertido. Questões como potência, torque e autonomia poderão ser avaliadas no ambiente controlado do laboratório.

1.1 JUSTIFICATIVA

Até o presente momento, a única iniciativa de se ter uma bancada para ensaios e desenvolvimentos relativos exclusivamente ao veículo elétrico noticiada no Brasil, aconteceu no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Montagem de Veículos Elétricos de Itaipú. De autoria dos engenheiros mecânicos Rui Marcos Faria de Souza e Luiz Diogo Filho, com colaboração de equipe da empresa, foi desenvolvido uma bancada de testes que reúne todos os componentes eletrônicos e a bateria do veículo elétrico em um único módulo, assim o grupo pretende avaliar o comportamento das partes e peças usadas em seus veículos, que são normalmente usados no clima tropical pois todos os componentes usados atualmente são importados. (PORTAL FATOR BRASIL, 2008).

Em fevereiro de 2014 o autor desta dissertação teve a oportunidade de visitar o Instituto *Fraunhofer* de Energia Eólica e Tecnologia de Sistema de Energia IWES na cidade de Kassel na Alemanha, o Instituto realiza pesquisas que abrangem todos os aspectos da energia eólica e da integração de fontes renováveis em estruturas de fornecimento de energia.

Funcionando desde 2011, o IWES SysTec (*Test Centre for Intelligent Networks and Eletromobility*) é composto de três unidades, o PNI *Grid Integration Research and Test Laboratory*, o TPE *Electromobility Test and Proving Centre* e o *Photovoltaic System Outdoor Test Areas*.

Para criar plataformas de desenvolvimento virtuais para baterias de íon de lítio, unidades de carregamento e simuladores de rede (Smart Grids), vários departamentos do Fraunhofer IWES reuniram o seu *know-how* e criaram o Centro de Testes para Eletromobilidade (IWES – TPE) e também firmaram um acordo de colaboração com a Universidade de Kassel. Neste contexto, o trabalho colaborativo está sendo expandido através da Aliança de Pesquisa de Tecnologia de Sistema de Veículos. O foco da *Fraunhofer* IWES é a integração da rede e da oferta de energias renováveis, por outro lado a Universidade de Kassel está se concentrando na tecnologia de sistemas do veículo.

Testes especiais reproduzíveis num *hardware -in -the- loop* (HIS) na unidade, são possíveis através da combinação de um dinamômetro de chassis com baterias virtuais. O tempo gasto em processos de otimização de compatibilidade entre veículos e baterias de diferentes tipos em condições diversas pode ser reduzida.

Os pesquisadores acreditam que as baterias de íon lítio terão um papel fundamental na Eletromobilidade. Suas características dinâmicas e comportamentos de envelhecimento desempenham um papel importante no desenvolvimento de futuros veículos híbridos e elétricos, assim como no projeto de sistemas inteligentes para ligação à rede bi- direcional. Portanto, bons modelos de simulação de baterias de íons de lítio são de grande importância para pesquisa e desenvolvimento no campo da mobilidade elétrica. O pacote de *software* ISET -Lib para bateria ion -Lithium de simulação foi desenvolvida na mesma base. No *software*, variantes em tempo real são usados para construir baterias virtuais que simulam fisicamente comportamento real das baterias.

Neste centro são desenvolvidos vários projetos, entre eles cabe destacar o projeto "eNterop" iniciado em julho de 2012 objeto de um consórcio entre as empresas BMW, Continental, Daimler, Fraunhofer, RWE, Siemens, TU Dortmund, Volkswagen e o Ministério Federal da Economia e Tecnologia (BMW*i*).

O projeto com duração prevista de dois anos e um volume de aproximadamente 4,6 milhões de euros é financiado em 50 por cento pelos parceiros da indústria. Pesquisas naquele

país preveem que em 2020 serão inseridos um milhão de veículos elétricos no mercado Alemão, diante disto o principal objetivo deste projeto é garantir uma comunicação interoperável entre o veículo elétrico e infra-estrutura de carregamento - um pré-requisito importante para uma ampla aceitação de eletro mobilidade. Para isto o projeto pretende entre outras coisas, discutir com vários setores a norma internacional para a ISO / IEC 15118, *vehicle-to-grid* (V2G), que trata da interface de comunicação, que é fator chave para a interoperabilidade dos veículos elétricos que no futuro demandará infraestruturas, bem como a integração da eletro mobilidade na cadeia de valor econômico-energético. (Fraunhofer IWES, 2014)

Como citado em (Reis Velloso, 2010, p 8), o mercado mundial se volta para o carro elétrico tendo uma matriz de energia desfavorável. O tema veículos elétricos é multidisciplinar e tem tecnologias de núcleo, como tecnologias de chassis e carrocerias, tecnologias de propulsão, uso, armazenamento, e reabastecimento de energia. Todas essas possibilidades constituem grandes desafios numa abordagem de desenvolvimento de projetos, neste contexto a plataforma de ensaios pretende ser um catalisador na disseminação da mobilidade elétrica e no desenvolvimento de massa crítica no ambiente da universidade.

Diante das diversas opções, neste trabalho optou-se por uma estrutura modular, ou seja, uma bancada de ensaios e um dinamômetro, onde se disponibilizaria de:

(a) uma fonte de energia

(b) de uma estrutura de chaveamento e controle, para aplicações de motorização com motor de corrente alternada produzido pela WEG Motores para aplicação em veículos elétricos

(c) de um sistema de controle a partir de um inversor de frequência de CFW11 também da WEG; atendendo assim às solicitações de projeto e desenvolvimento numa única estrutura, capaz de simular diferentes tipos de regime de uso como normal, severo, trechos de aclave além da possibilidade de usar diferentes velocidades no ambiente do laboratório.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

Projetar e executar uma plataforma de análise da conversão da tração de veículos dotados originariamente com motores a combustão interna para tração elétrica para avaliar as grandezas torque, potência mecânica e consumo de energia elétrica no veículo convertido em bancada em escala laboratorial.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho propõe uma alternativa na avaliação de veículos convertidos para tração elétrica com o uso de uma bancada como fonte de energia externa e um inversor de frequência, aliada a um dinamômetro de rolos para ensaio do veículo convertido. Especificamente, os objetivos deste trabalho são:

- Converter a tração do veículo a ser ensaiado;
- Projetar e produzir uma bancada dotada de equipamentos para fornecimento de energia e controle na tração elétrica;
- Integrar a bancada de ensaios e dinamômetro de rolos;
- Ensaiar o veículo convertido na plataforma de ensaios;
- Levantar as curvas de torque e potência do veículo convertido na Plataforma de Ensaios;
- Determinar o consumo de energia elétrica durante os ensaios.

1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para a concepção da Plataforma de Análise de Conversão de Tração de Veículos com Motores a Combustão Interna para Tração Elétrica, as atividades foram divididas em etapas distintas, tais como: (a) revisão bibliográfica através de teses, dissertações, artigos científicos e livros sobre a temática, (b) a conversão de um veículo que seria objeto de avaliação, (c) o projeto e a execução de uma bancada, contendo a fonte de energia a partir da rede elétrica, e (d) o projeto da estrutura de controle da plataforma, até posterior integração do mesmo a um dinamômetro.

1.4. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Durante a produção desta dissertação foi apresentado o artigo científico “PROJETO DE PLATAFORMA DE ANÁLISE DE CONVERSÃO DE TRAÇÃO DE VEÍCULOS COM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA PARA TRAÇÃO ELÉTRICA” no X Congresso Latino Americano de Veículo Elétrico o qual foi premiado pelo comitê científico.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos com a seguinte disposição.

O capítulo 1 faz uma contextualização da fabricação e conversão de veículos elétricos, discorre sobre a justificativa e objetivos que se pretende atingir e descreve a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 define, a partir da revisão bibliográfica, conceitos básicos envolvidos na conversão de veículos para tração elétrica, além de apresentar os tipos de motores elétricos usualmente aplicados em tração e suas características.

O capítulo 3 trata dos requisitos para conversão, das características do veículo a ser convertido, da escolha do motor elétrico refrigerado a água e das suas vantagens.

O capítulo 4 aborda o projeto e execução da bancada da plataforma de ensaios, do transformador, do inversor de frequência e do quadro de comandos elétricos, bem como da segurança e funcionalidade da bancada.

O capítulo 5 cita a integração do dinamômetro de rolos a plataforma de ensaio. Mostra também tipos de dinamômetros, respectivos aspectos funcionais e apresenta o equipamento com suas características e instrumentação.

O capítulo 6 descreve os ensaios em três etapas distintas. A primeira a análise do comportamento da temperatura do motor elétrico refrigerado a água, em seguida o levantamento das curvas de torque e potência do veículo convertido e por último os ensaios por meio do ciclo de condução SAE J227a.

Por fim, o capítulo 7 constam as principais conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo faz uma revisão bibliográfica, onde são discutidos conhecimentos e conceitos básicos indispensáveis para a execução da conversão da tração de um veículo, que foi projetado inicialmente para usar um motor a combustão interna, e também uma descrição das características de motores elétricos que são usualmente utilizados em tração veicular.

2.1 VEÍCULOS CONVERTIDOS NO BRASIL

Existem diversas experiências no Brasil de conversão de veículos elétricos. A maioria delas feitas em Universidades em projetos científicos. Abaixo são citados alguns exemplos:

- Kombi elétrica da Unicamp, ano 1984. Foi parte do projeto de mestrado do Engenheiro Gilmar Barreto defendido em 1986. (COSTA, 2009).
- Super Mini elétrico da Unicamp. Desenvolvimento de kit de baixo custo para conversão de veículos com motor a combustão interna para veículos a tração elétrica, ano 2007. Foi usado um veículo Gurgel Supermini pelo Departamento de Eletrônica e Microeletrônica, DEMIC-FEEC-UNICAMP, em Campinas, São Paulo. (COSTA, 2009).
- Conversão de um veículo modelo saveiro para tração elétrica pela WEG, em 2007. A conversão foi feita na fábrica da Weg em Jaraguá do Sul com componentes produzidos na própria empresa e equipe própria atuou na conversão. (COSTA, 2009).
- Conversão de automóvel Astra para veículo elétrico da Fundação Educacional Inaciana (FEI). Essa conversão tem a peculiaridade de usar um gerador a gasolina e um banco de baterias, o que permite ganho em autonomia. (COSTA, 2009).
- Veículos Elétricos de Itaipú (Projeto VE). Os processos tiveram início 2004 com uma parceria entre Itaipú e KWO e em seguida com a conversão de veículos Pálio Weekend para tração elétrica. Hoje existe também o Daily Elétrico, que é um caminhão para cargas pequenas e o Granmini Elétrico, um mini-ônibus. O projeto já produziu diversas unidades que são usadas em Itaipú e também pelos parceiros com a Fiat Automóveis, Eletrobrás, Copel, Weg e KWO. Esse projeto também pretende

promover transferência de tecnologia na produção das baterias de sódio no Brasil. (FINEP, 2013).

- Conversão de um veículo Gol Geração 4 com tração com motor a combustão interna para tração elétrica. Desenvolvido pelo engenheiro Elyfas Gurgel, em 2008.
- Conversão de veículos da marca Fiat em veículos elétricos, 2012. Desenvolvido pelo engenheiro Maurício dos Santos Anjo.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS DE FÁBRICA

O primeiro trabalho desenvolvido foi pela indústria brasileira Gurgel Motores, fundada em 1969 pelo engenheiro mecânico e eletricista João Augusto Conrado do Amaral Gurgel, que funcionou por 25 anos produzindo diversos veículos e entre eles dois de propulsão elétrica, o Gurgel Itaipu e Itaipu E400. Adicionalmente, existem hoje ofertas para aquisição de veículos elétricos e híbridos de fábrica, porém, os preços ainda são um grande problema dado o tratamento tributário dispensado a esse tipo de produto.

Neste contexto, uma lista completa contendo os veículos da Gurgel, websites, projetos acadêmicos e produtores independentes pode ser acessada na página da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE).

2.3 FORÇA DE TRAÇÃO

Usando a mecânica newtoniana pode-se determinar qual a força de tração (F_t) que será necessária para transpor a resistência aerodinâmica, a resistência ao rolamento, o aclave (figura 2) e a própria inércia do veículo (Larmine, 2003).

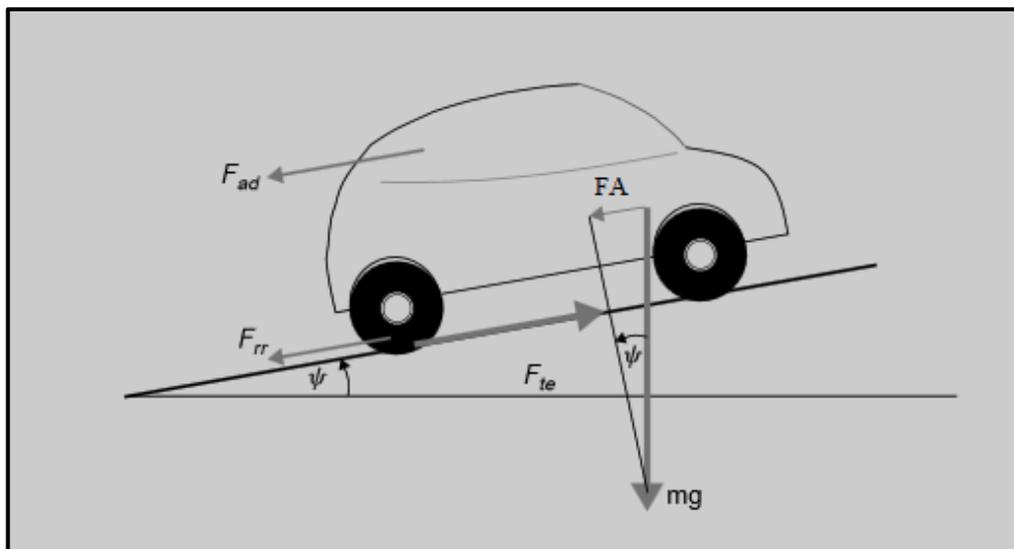


Figura 2 – Forças atuantes em um veículo em movimento em um aclive
 Fonte: Larminie, 2003

Assim, a equação (1) mostra que:

$$F_t = F_{rr} + F_{ad} + FA + Fi \quad (1)$$

Onde:

$$F_{rr} = cr \cdot m \cdot a \quad (2)$$

F_{rr} = Força de resistência ao rolamento – [N]

cr = Coeficiente de resistência ao rolamento – [adimensional]

m = Massa – [Kg]

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho \cdot Af \cdot Cx \cdot v^2 \quad (3)$$

Onde:

F_{ad} = Força Aerodinâmica – [N]

ρ =Densidade do ar [kg/m³]

A_f = Área frontal – [m²]

C_x = Coeficiente de arrasto aerodinâmico – [adimensional]

v = Velocidade – [m/s]

a = aceleração – [m/s²]

$$F_a = m \cdot a \cdot \text{sen}\theta \quad (4)$$

Onde:

F_a = Força no aclave – [N]

m = massa – [Kg]

a = aceleração – [m/s²]

θ = ângulo de inclinação do pavimento – [graus]

2.3.1 Resistência de Aclave

Quando um veículo se desloca em um aclave,(figura 2) uma parcela de seu peso é absorvido pela superfície do solo na forma de força normal, a parcela restante age sobre o centro de gravidade do veículo, paralelamente ao plano inclinado tendendo a fazer o veículo descer. A esta componente do peso dá-se o nome de resistência de aclave. Para que haja equilíbrio estático esta componente deve ser vencida pela força de tração. (Nicolazzi et al. 2001)

$$F_i = m_e \cdot a \quad (5)$$

Onde:

F_i = Força para vencer a Inércia – [N]

m_e = massa equivalente já com a inércia do sistema – [Kg]

a = aceleração – [m/s²]

2.3.2 Resistência de Inércia

De acordo com a leis de Newton, para alterar o movimento de corpo, esteja ele em repouso ou movimento retilíneo uniforme, faz-se necessário a aplicação de uma força. Para calcular a força a ser aplicada em um automóvel, sendo este um conjunto de inércias em translação e rotação, é preciso computar a translação das massas e as inércias rotativas. Quando o automóvel está em aceleração, as inércias rotativas na caixa de transmissão e no diferencial são submetidas a acelerações angulares proporcionais a linear o que pode representar expressiva parcela de consumo de força e potência. Por isso, é importante considerar as componentes de inércia de rotação e translação para então definir a inércia equivalente. (Nicolazzi et al. 2001)

A resistência de inércia de translação pode ser descrita por

$$Q_i' = ma \quad (6)$$

Onde

Q_i' = resistência de inércia

Para produzir uma aceleração angular, α , em uma inércia rotacional é necessário aplicar-se um momento, M , dado por:

$$M = J\alpha \quad (7)$$

onde:

α = aceleração angular - [rad/s²]

J = inércia de rotação - [kg/m²],

O fato do veículo dispor de caixas de redução de rotações, têm-se diferentes inércias girando a velocidades diferentes. Assim, se faz necessário dividir as inércias rotativas de formas distintas, organizados da seguinte forma:

J_r - Inércias das rodas e agregados tais como: rodas dianteiras, traseiras, parte do diferencial do lado das rodas, dos discos e tambores de freio e dos cubos de roda.

J_t - Inércia da transmissão. Parte do diferencial do lado da caixa mais eixo cardam e

juntas, bem como a parte acionada da caixa.

J_m - Inércia do motor. Motor e acessórios, volante, embreagem e parte acionante da caixa de marchas.

Para obter a força de equivalente a de inércia no ponto de contato com o solo, é necessário dividir o momento dado pela equação (7) pelo raio dinâmico do pneu como segue:

$$Q_i'' = \frac{M}{rd} \quad (8)$$

onde:

rd = raio dinâmico do pneu [m]

Ocorre variação do diâmetro do pneu em função de sua elasticidade e da velocidade como efeito da força centrífuga. O raio dinâmico, rd , é então definido pela distância perimetral percorrida pelo pneu na condição de carga máxima com velocidade padrão de 60km/h. (Nicolazzi et al. 2001).

O fato de haver diferenças entre as velocidades das inércias J_t e J_m , impossibilita uma soma direta das grandezas, assim, para se obter a inércia equivalente, supõem-se uma inércia unida a um eixo que através de uma redução i transmite movimento, e a mesma energia cinética, ao outro extremo desse eixo.

Deste modo se pode calcular uma inércia equivalente a do motor e da transmissão, nas rodas, considerando a j ésima relação de transmissão da caixa de câmbio (ic_j) e do diferencial (id), desse forma:

$$J = J_r + i^2(J_t + ic_j^2 J_m) \quad (9)$$

A resistência total da aceleração é então dada pela soma das inércias de translação e da rotação.

$$Q_i = Q' + Q'' \quad (10)$$

Ou

$$Q_i = ma\left(1 + \frac{J}{m \cdot r \cdot d^2}\right) \quad (11)$$

Ou ainda

$$Q_i = ma(1 + \delta) \quad (12)$$

Onde:

$$\delta = \left(\frac{J}{m \cdot r \cdot d^2}\right) \quad (13)$$

A inércia equivalente, δ , representa o aumento da massa do veículo devido a necessidade de acelerar as inércias rotativas. Segundo (Nicolazzi et al. 2001) uma boa estimativa de inércia equivalente para o anteprojeto de um automóvel, pode ser calculado por:

$$\delta = 0,004 + 0,05 \cdot icj^2 \quad (14)$$

De posse do valor da força de tração é possível calcular o torque na roda do veículo.

$$Tr = Ft \cdot r \quad (15)$$

Onde:

Tr= Torque na roda – [Nm]

Ft= Força de tração – [N]

r= raio da roda – [m]

Com isso, pode-se calcular Torque no motor elétrico que é uma razão entre o Torque na Roda e o produto da relação da caixa de transmissão com o seu respectivo rendimento.

$$Tm = \frac{Tr}{Rt \cdot \eta t} \quad (16)$$

Onde:

Tm= Torque no motor – [Nm]

T_r = Torque na roda – [Nm]

R_t = Relação da caixa de transmissão – [adimensional]

η_t = Rendimento da transmissão – [adimensional]

2.4 CAIXA DE TRANSMISSÃO

Também conhecido com Caixa de Câmbio é o equipamento utilizado por máquinas e veículos para converter a potência do eixo dos motores em velocidade e ou torque, de acordo com a aplicação da máquina ou veículo.

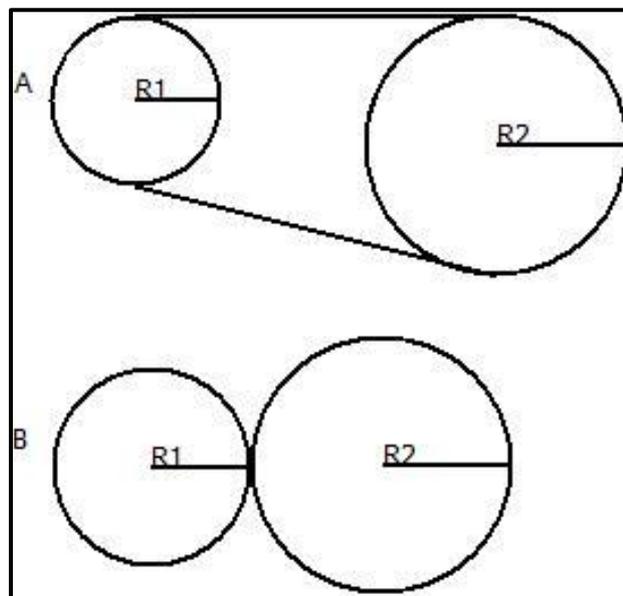


Figura 3 – Transferência de movimento entre engrenagens

Fonte: O autor, 2013

Para relatar, de forma sucinta o funcionamento da caixa de câmbio, faz-se necessário observar na figura 3, a ilustração A, a transferência de força e velocidade da estrutura motriz com o raio R_1 , que é menor que R_2 é acoplado através de uma correia ou corrente. Na ilustração A o sentido de rotação é o mesmo, já na ilustração B com acoplamento de duas engrenagens através de seus dentes, a rotação de R_2 será inversa a de R_1 .

Com as ilustrações da figura 1 é possível agora avaliar o comportamento da força e velocidade angular transferida nesses dois tipos de acoplamento.

Primeiramente, analisando o acoplamento por correias, pode-se dizer que se não houver deslizamentos por parte da correia, a velocidade de R1 e R2 será igual, portanto,

$$v = \omega r \quad (17)$$

Onde:

v = Velocidade escalar – m/s

ω = Velocidade angular – rad/s

r = raio da circunferência - m

E se $v_1=v_2$, então, $F_1=F_2$, então:

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 \quad (18)$$

Sabendo-se que:

$$\omega = 2\pi f \quad (19)$$

Onde,

f = frequência - Hz

Então:

$$2\pi f_1 R_1 = 2\pi f_2 R_2 \quad (20)$$

Daí, tem-se que:

$$f_2 = f_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (21)$$

A equação (21) demonstra que pelo fato de R_1 ser menor que R_2 a razão entre elas dará um resultado menor que a unidade, isto implica que a velocidade f_2 é menor que f_1 , resultando no que é chamado de redução de velocidade.

Agora, sob o aspecto de Torque, pode-se avaliar a ilustração B que representa duas engrenagens, onde a menor (de raio R_1), movimenta a segunda de raio R_2 .

Lembrando que Torque é a o produto da Força pelo Raio:

$$T = F \cdot r \quad (228)$$

Tem-se que:

$$T1 = F1.R1$$

e

$$T2 = F2.R2$$

Então ,

$$F1 = \frac{T1}{R1} \text{ e } F2 = \frac{T2}{R2}$$

Se $F1=F2$, então:

$$\frac{T1}{R1} = \frac{T2}{R2}$$

Isto implica que:

$$T2 = T1 \frac{R2}{R1} \tag{23}$$

A equação (14) demonstra que pelo fato de $R2$ ser maior que $R1$ a razão entre elas dará um resultado maior que a unidade, isto implica que o Torque em $T2$ é maior que $T1$, resultando no que é chamado de vantagem mecânica.

As duas últimas demonstrações mostram que para uma certa entrada, resultará uma saída proporcional, se houver diminuição de velocidade, resultará em aumento de torque e assim sucessivamente, em outras palavras, isso é a lei de conservação de energia. Todos os projetos que fazem uso de equipamentos redutores avaliam o que é mais vantajoso: torque, potência ou uma combinação dos dois.

Rendimento é um número adimensional que representa em valores percentuais, quanto efetivamente de energia em um motor é transformado em trabalho. Toda máquina sofre perdas no seu funcionamento, sejam perdas mecânicas ou térmicas, por isso o rendimento jamais será igual a 100%.

$$\eta = \frac{\tau}{\varepsilon} . 100 \tag{24}$$

Onde:

η : Rendimento [adimensional]

τ : Trabalho produzido [Nm]

ε : Energia recebida [J]

De uma forma ampla, os motores convertem energia em trabalho, porém essa conversão sempre tem perdas associadas, daí o rendimento completo, 100%, ser apenas teórico. A evolução das máquinas desde a vapor até os dias atuais sempre buscou melhorar o rendimento. O fato dos veículos de transporte em sua grande maioria usarem diesel e não gasolina ou etanol é porque o diesel tem eficiência da ordem de 45%, enquanto os veículos a gasolina aproximadamente 30%, já os motores a etanol são menos eficientes ainda. A opção das indústrias utilizarem motores elétricos também está associada ao rendimento que pode ultrapassar 90% e por isso apresenta-se como uma interessante forma de propulsão..

Assim, pode-se resolver a equação (7) e em seguida calcular a potência elétrica do motor elétrico para tração.

$$P_m = T \cdot \frac{rpm}{9549} \quad (25)$$

Onde:

P_m = Potência do motor elétrico [w]

T = Torque [Nm]

rpm = rotação [rpm]

9549= constante

2.5 MOTORES ELÉTRICOS

Diversas são as opções para aplicação de motores elétricos em sistemas de tração.

Os motores elétricos podem usar uma configuração padrão usada de um motor a combustão, longitudinal ou transversal, dianteiro ou traseiro ou ainda ser instalado direto nas rodas com ou sem caixa redutora, figura 4.

Segundo Chau (2008), os motores de imã permanente sem escovas (*brushless*) têm vantagens importantes sobre os demais por sua alta densidade de energia, alta eficiência e confiabilidade. Vantagens essas que só foram possíveis devido a descoberta de novos materiais para a fabricação de ímãs (terras raras) e o desenvolvimento dos motores de corrente contínua (DC) que passaram a ser usados sem escovas o que diminuiu consideravelmente perdas por centelhamento, comutação, ruídos eletromagnéticos além de não dependerem tanto de manutenção como os antecessores com escovas e coletores.

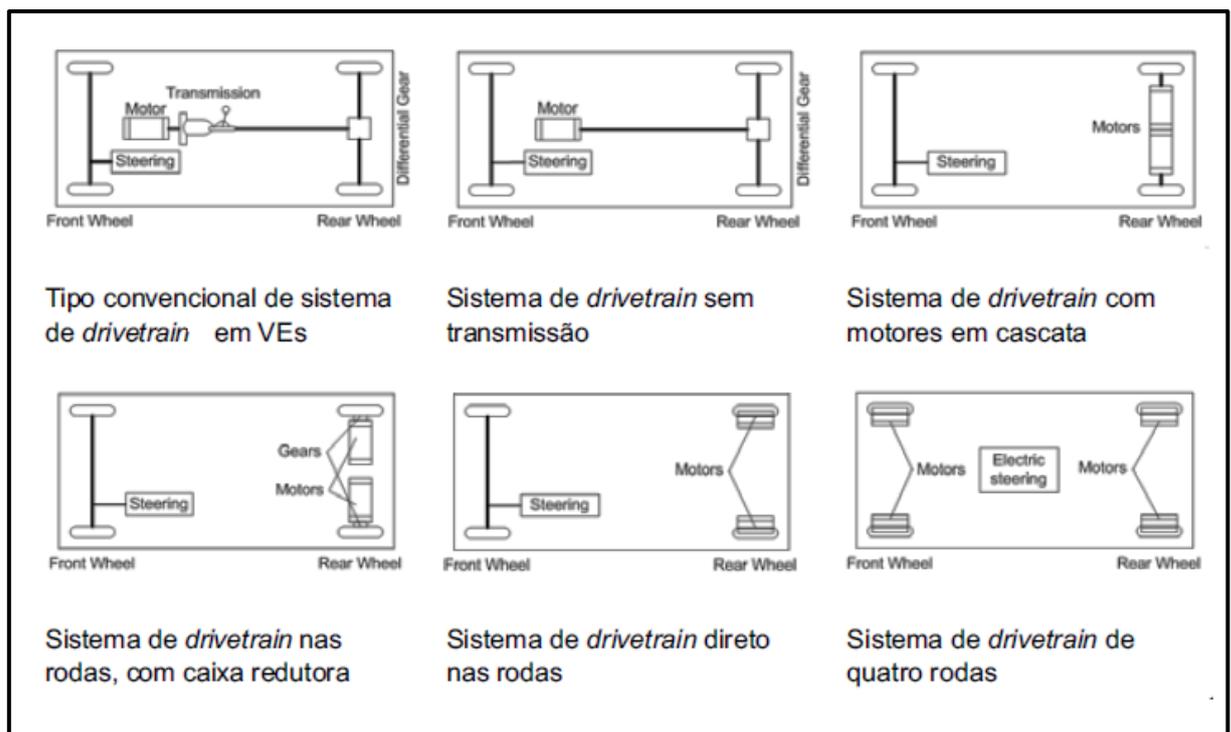


Figura 4 – Configurações possíveis de motor(s) elétricos na tração
 Fonte: Xue et al. (2008)

Para aplicações em ambientes restritos e a baixas velocidades, como fábricas, depósitos e campos de golfe, os veículos elétricos normalmente usam motores (DC) com comutadores e também o motor sem escovas DC com excitação a imã permanente.

A grande maioria dos veículos elétricos de passeio nos dias de hoje usam motores de corrente alternada (AC), com destaques para os motores de indução e os motores síncronos com ímãs permanentes.

Sobre o aspecto construtivo, a principal diferença entre eles encontra-se no rotor. O motor AC de indução tem barras de cobre ou alumínio curto circuitadas a discos formando uma gaiola, daí o nome gaiola de esquilo e a corrente é induzida pelo estator para formar o

campo, no motor AC de ímãs permanentes o campo é permanente pelo fato do rotor já ter inserido na sua estrutura material magnético.

Sobre aspecto da eficiência, os motores AC a ímã permanente levam vantagem pois a velocidade do campo girante do estator é mesma velocidade do rotor, que é a característica de uma máquina síncrona. Já nos motores AC de indução, existe o escorregamento que é uma pequena defasagem entre a velocidade do campo girante e a velocidade do rotor.

Em (Costa, 2009) foi apresentado um quadro comparativo relacionado as tecnologias de motores para veículos elétricos, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Dados comparativos de motores elétricos para tração

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	4	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

Motores de indução tem extensa aplicação na área industrial, pois o seu custo é atraente além de ser uma tecnologia madura. Normalmente utilizam conversores estáticos de frequência, mais conhecidos como inversores de frequência, no seu sistema de controle.

Tais equipamentos proporcionam diversas vantagens quanto a variação de velocidades e torque.

A velocidade é controlada variando a frequência, conforme mostra a equação (26):

$$n = \frac{120 \cdot f1 \cdot (1 - s)}{p} \quad (26)$$

Onde:

n = rotação – rpm

$f1$ = frequência de alimentação – Hertz

p = número de pólos

s = escorregamento

Analisando, pode-se observar que variando a frequência de alimentação, pode-se variar a rotação. A rede de alimentação fornece tensão com amplitude e frequência constantes, os inversores transformam a amplitude e a frequência em variáveis. Assim, além de variar a velocidade, pode-se variar o torque do motor alterando a amplitude da tensão.

O torque do motor é definido pela seguinte equação:

$$Tm = K \cdot \Phi m \cdot Ir \quad (27)$$

Onde:

Tm = Torque no motor – [Nm]

K = constante do motor

Φm = fluxo magnético – [Wb]

Ir = Corrente rotatória [A]

Para garantir diferentes velocidades é preciso não somente variar a frequência, mas também variar proporcionalmente a amplitude da tensão, assim será possível operar com o fluxo constante, o que garante torque constante.

A figura 2, demonstra que a relação entre tensão e frequência (V/f) é linear até a frequência de base ω_b , que é a frequência nominal do motor. Acima dessa frequência a tensão atinge o valor de tensão nominal do motor.

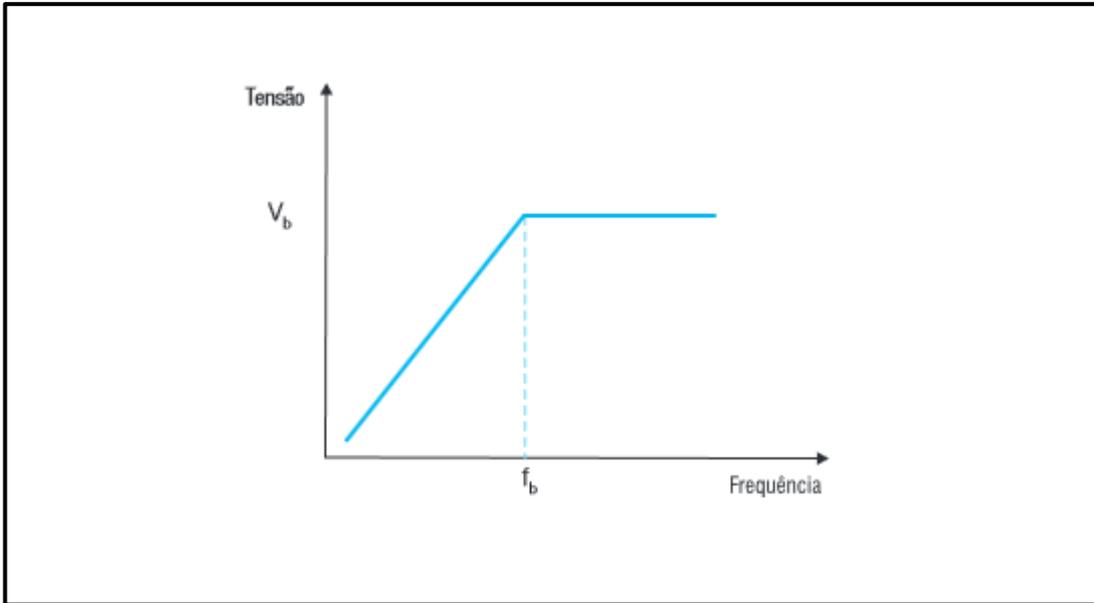


Figura 5 – Gráfico tensão x Frequência

Fonte: ecatalog.weg.net

O torque permanece constante até atingir a frequência de base. A partir desse ponto ocorre a diminuição do fluxo magnético com o enfraquecimento do campo e a redução do torque, como pode-se observar na figura 3.

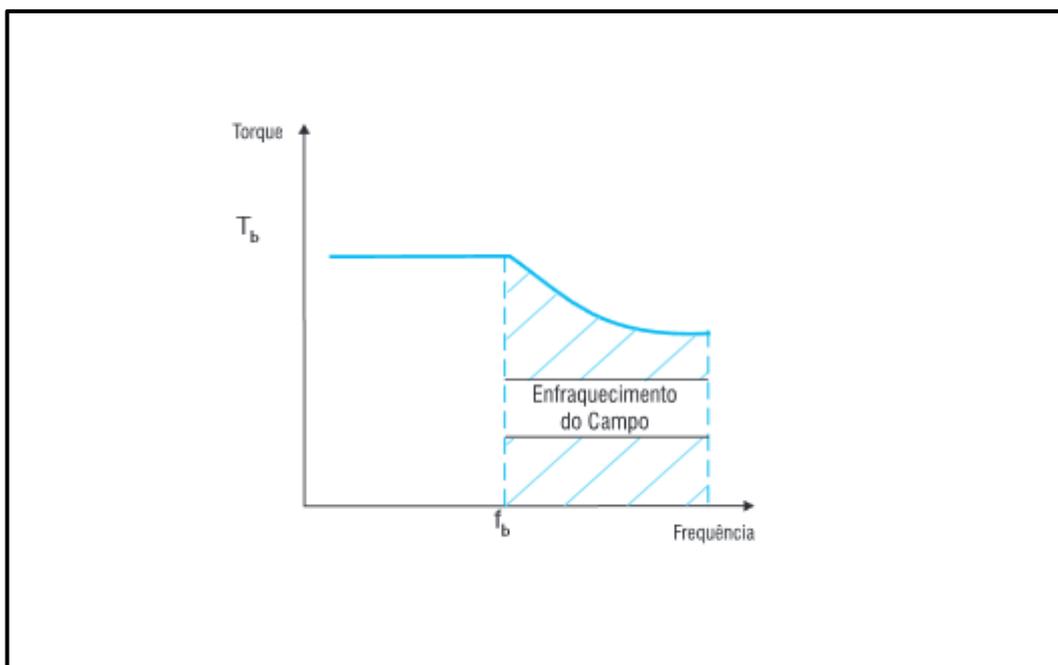


Figura 6 – Gráfico Torque x Frequência

Fonte: ecatalog.weg.net

Em relação a potência, por ser diretamente proporcional ao torque e a velocidade de rotação, ela cresce linearmente até atingir a frequência de base e passa a ser constante acima desta frequência.

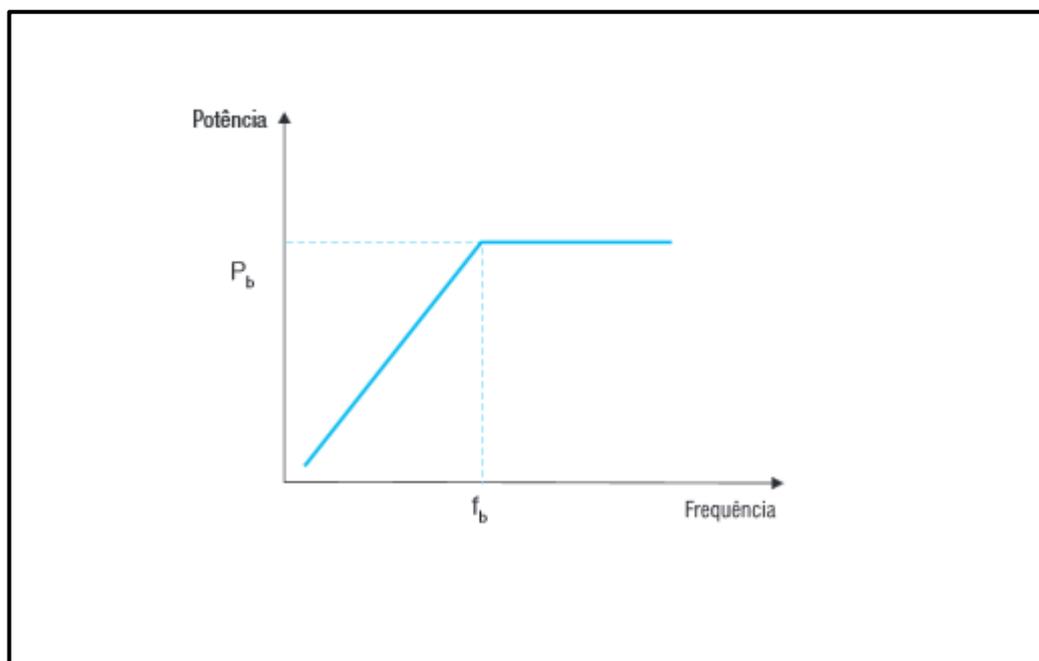


Figura 7 – Gráfico Potência x Frequência

Fonte: ecatalog.weg.net

Baseado nas condições expressas na tabela 1, iniciou-se a avaliação sobre qual seria a opção mais adequada, levando-se em consideração também a disponibilidade no mercado brasileiro. No capítulo 3 será detalhado outros aspectos que influenciaram na escolha.

3 CONVERSÃO DO VEÍCULO

Para a conversão de um veículo que utiliza na tração motor a combustão para um motor elétrico, algumas questões necessitam ser equacionadas para que se possa visualizar o objetivo a ser alcançado. Por exemplo, qual será a aplicação do veículo, (transporte de cargas ou passageiros), qual será o regime de utilização, qual serão os percursos, qual a necessidade de torque e velocidade? Tais respostas balizarão as condições de contorno do projeto.

Com todos os veículos a previsão de desempenho e alcance é importante. Acima de tudo, os métodos baseados em computador permite-nos rapidamente executar experiências com os aspectos do veículo, tais como potência do motor, o tipo e o tamanho da bateria, peso e assim por diante. Além disso permite avaliar como as mudanças afetam o desempenho e o alcance. (LARMINE, 2003).

O primeiro parâmetro que servirá de modelo é o desempenho do veículo. Pelo desempenho entende-se aceleração e velocidade máxima, uma área onde os veículos elétricos têm uma reputação questionável. É necessário que qualquer veículo elétrico tenha um desempenho que permita, no mínimo, trafegar com segurança no tráfego de uma cidade. Muitos argumentam que o desempenho deve ser pelo menos tão bom quanto os veículos com motor de combustão interna atuais. (LARMINE, 2003).

3.1 REQUISITOS

Segundo (Costa, 2009), a conversão de um veículo para tração elétrica segue 12 passos, que vão desde a escolha do veículo até a revisão na legislação vigente, além de recomendar uma visão crítica que permita aperfeiçoamentos durante a realização do trabalho, conforme a seguir:

- 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.

3.2 O VEÍCULO

O veículo a ser convertido já era de propriedade da Universidade de Brasília (UnB) o que representou uma vantagem para esta etapa do projeto, pois o primeiro passo recomendado por (Costa, 2009) não seria mais necessário implementar. O automóvel, um Fiat Pálio EDX 1.0 ano 1999 foi doado pela Fiat do Brasil para ser usado em aulas para de alunos de engenharia e também em projetos. A figura 8 ilustra a disposição de uma veículo de tração dianteira com motor transversal e a sua ficha técnica é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Características do Palio

Dimensões	
Comprimento	3730 mm
Largura	1610 mm
Altura	1440 mm
Peso	910kg
Porta malas	210L
Motor a Combustão	
Tipo	Dianteiro, transversal, 4 cilindros, 8válvulas
Potência	61cv a 6100RPM
Potência Específica	61,37 cv/litro
Torque	8,1 kgfm a 3000 rpm
Torque Especifico	8,15 kgfm/3000 rpm
Cilindrada	994 cc
Suspensão	
Dianteira	Independente, Mc Person com braços oscilantes
Traseira	Independente, com braços longitudinais interligados por barras de torção
Amortecedores	Hidráulicos e molas helicoidais
Freios	
Dianteiros	Disco
Traseiros	Tambor
Capacidades	
Porta malas	210 L
Área frontal aproximada	2,36 m ²

Para os cálculos da conversão serão usados os dados da tabela 3, além do peso do veículo citado na tabela 2.

Tabela 3 – Dados originais para conversão

Espaço no Motor	
Altura aproximada	400 mm
Largura aproximada	350 mm
Profundidade	450 mm
Transmissão	
Tração	Dianteira
Relação	1ª 4,27
	2ª 2,24
	3ª 1,52
	4ª 1,16
	5ª 0,97
Diferencial	4,36
Porta malas	210 L
Área frontal aproximada	2,36 m ²
Rodas	
Aro 13''	Aço
Pneu	185/70/13

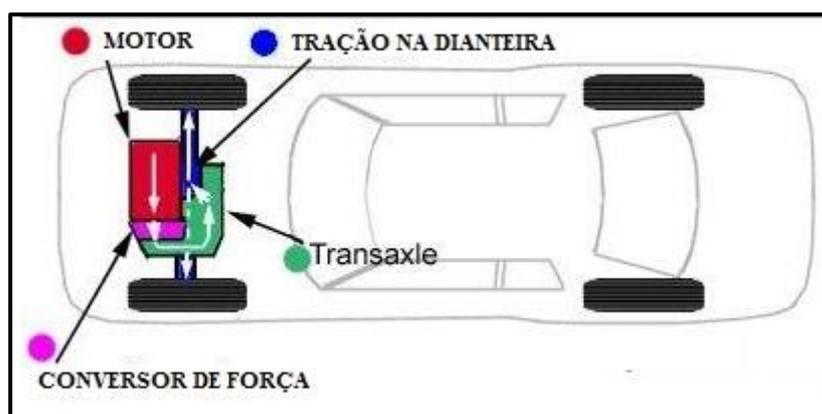


Figura 8 – Disposição de motor dianteiro transversal

Fonte: autocenter.blog.br

3.2.1 Caixa de Transmissão

A caixa de transmissão original é manual de cinco marchas, sendo que na tabela 2 temos as relações de câmbio, que basicamente servem para transformar o torque e rotação do motor em torque e rotação nas rodas do veículo. Neste momento faz-se necessária uma breve explanação sobre as informações do pneu, que no caso é um 185/70/13. A centena 185 refere-se a largura da banda de rodagem e é expressa em milímetros; a dezena 70 é a relação entre altura e largura do pneu, ou seja, a altura é 70% da largura; e a última dezena 13, é o diâmetro da roda dado em polegadas. Somando as contribuições para o referido conjunto de roda e pneu tem-se aproximadamente, 589mm de diâmetro.

A tabela 4 mostra, de forma teórica, a velocidade de saída na transmissão, no diferencial e na própria roda, levando em consideração uma rotação do motor elétrico de 5000 rpm, sendo que a relação do diferencial é 4,36.

Tabela 4 - Transmissão do Palio

Marcha	Relação	Rotação de saída Transmissão – Rpm	Rotação de saída diferencial - Rpm	Velocidade escalar no pneu – km/h
1^a	4,27:1	1171	269	29,81
2^a	2,24:1	2232	512	56,83
3^a	1,52:1	3289	754	83,76
4^a	1,16:1	4310	988	109,75
5^a	0,97:1	3020	692	131,25

Conforme citado neste capítulo, nas relações do câmbio do Palio, pode-se observar que na primeira marcha há uma sensível redução da velocidade, 4,27:1. Em compensação haverá um ganho no torque, pois os veículos em primeira marcha tem de ser capazes de

movimentar o seu peso próprio e eventualmente a lotação completa a que lhe é permitida com algum peso extra na mala e também uma certa inclinação no pavimento e outros fatores, ou seja, deve ter alto torque. Já na relação da quinta marcha, 0,97:1, o importante é aumentar a velocidade do veículo.

3.2.2 Espaço Disponível

Nesta etapa do projeto foi necessário remover todos os componentes que compunham a estrutura original de tração movidos com motor a combustão interna como motor, escapamentos, tanque, gargalo do tanque, tubulações de alimentação e de retorno de combustível, tubulações e componentes do sistema de evaporação de combustível, unidade de comando eletrônico do sistema de injeção eletrônica e também chicotes elétricos de sensores e atuadores do sistema de injeção eletrônica, alternador e motor de partida. Toda a parte de iluminação interna e externa do veículo será mantida e, oportunamente, será reativada, muito provavelmente com conversor DC/DC conectado a bateria para repor a carga consumida pelos componentes do veículo durante o seu uso.

A figura 5 apresenta em uma vista superior o espaço disponível entre a longarina e a caixa de câmbio.

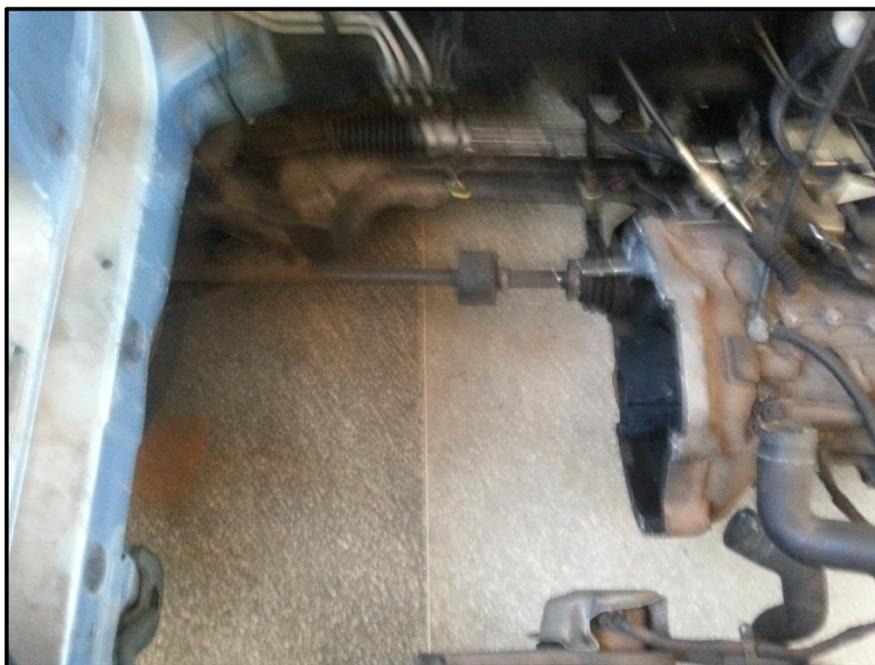


Figura 9 - Cofre do motor onde será instalado o motor elétrico

A figura 6 apresenta a face da caixa de câmbio que receberá o motor elétrico por meio do flange de acoplamento.

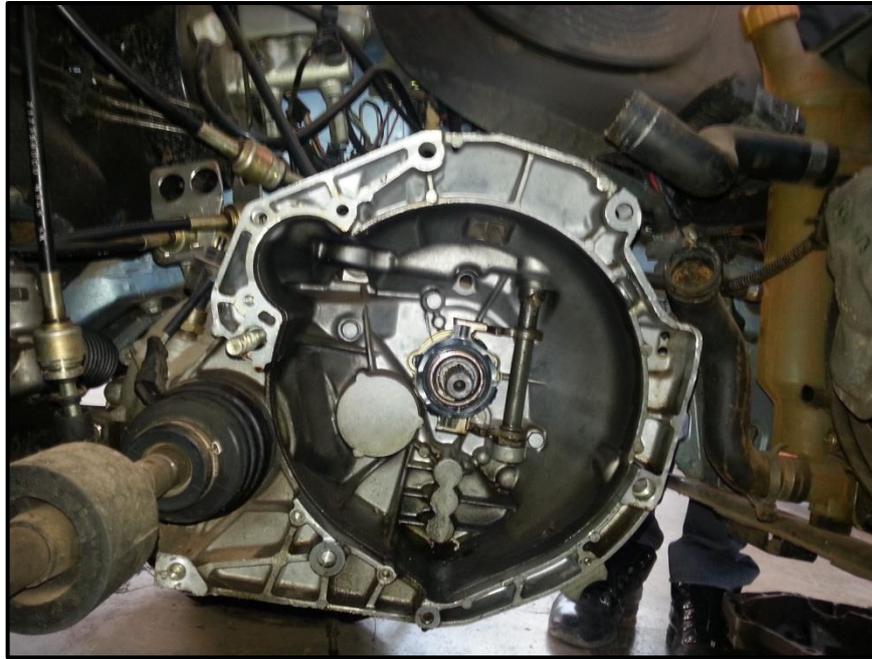


Figura 10 - Vista Frontal do ponto onde será acoplado o motor elétrico com o flange

3.3 ESCOLHA DO MOTOR ELÉTRICO

De posse dessas informações procede-se com os cálculos de torque e potência requeridos e em seguida é possível iniciar outra etapa da conversão que é a escolha do motor elétrico. Para tanto é importante avaliar algumas características necessárias ao motor elétrico a ser usado na aplicação que são: alta densidade de energia e torque; larga faixa de velocidade, com torque alto em baixa velocidade e com torque baixo em alta velocidade; confiabilidade e robustez para atender as constantes partidas e paradas; alta eficiência em larga faixa de velocidade e torque; bom desempenho em regimes transitórios; e facilidade de controle. (CHAN, 1996).

Com as informações citadas no item 2.5 é possível avaliar características de alguns motores com destaque para os de indução que tem alta densidade de potência; baixos custos de manutenção e que por sua larga aplicação industrial e doméstica, tem custo relativamente baixo e tecnologia madura; e possibilidade de ser controlado pelo método escalar ou vetorial.

Assim optou-se por um motor de indução trifásico assíncrono com potência de 21 kW da WEG, refrigerado a água e instrumentado para controle da temperatura, com massa e dimensões extremamente reduzidas junto com um inversor de frequência CFW 11, que trabalha com tensão trifásica de 220 Volts e uma corrente de até 105 Amperes conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5 - Dados do motor elétrico escolhido

Motor de Indução Trifásico	Gaiola	Fator de Serviço	1
Corrente Nominal	84.4 A	Rendimento	90,0%
Tensão Nominal	220V	Fator de Potência	0,79
Potência	22 Kw/ 30 cv	Frequência	100 Hz
RPM	2930	Número de Pólos	4
Proteção	IP55	Classe de isolamento	H
Escorregamento	3,33%	Massa aproximada	57kg
Comprimento Aproximado	327mm	Refrigeração	a água
Conjugado Nominal	6.93 kgfm	Conjugado de Partida	240 %
Conjugado Máximo	350 %	PT-100 para monitorar a temperatura	9

3.3.1 Motor Elétrico Refrigerado a Água

O motor utilizado no projeto tem características diferentes dos motores elétricos convencionais, pois é refrigerado a água, o que permite ao sistema manter a eficiência em diversos regimes de uso, especialmente em baixas rotações quando pode ser aplicado torque máximo.

O sistema de refrigeração dos motores *Water Cooled* funciona de forma que a água percorre o interior da carcaça, agindo uniformemente sobre todo o invólucro do motor. Essa refrigeração mantém a alta eficiência térmica, inclusive em velocidades reduzidas, o que permite o uso de inversor de frequência com ampla faixa de velocidade, até mesmo em aplicações que requerem torque constante.

Os motores *Water Cooled* atendem aos rendimentos estabelecidos pela norma ABNT NBR 17094-1:2008 o que garante menor consumo de energia elétrica e redução dos custos globais de operação dos motores. Tais vantagens tornam os motores ideais para as mais variadas aplicações, principalmente em ambientes com limitações de espaço, ruído e circulação de ar. Aplicações típicas também incluem locais de difícil acesso para manutenção. (Manual WEG - *Motores Water Cooled*)

Tabela 6 – Vantagens do motor elétrico refrigerado a água

Atributos	Benefícios
Níveis de rendimento conforme norma NBR 17094-1: 2008	Menor consumo de energia elétrica e redução dos custos operacionais
Refrigeração a água	Garante maior dissipação térmica, permitindo maiores potências por tamanho de carcaça
Ausência de ventilador externo	Redução do nível de ruído
Menor volume	Otimização de espaços com possibilidade de redução da máquina do cliente
Carcaça em ferro fundido em peça única	Não requer vedações adicionais
PT-100 nos enrolamentos e mancais	Permite o monitoramento contínuo da temperatura de operação do motor
Customização	Produto customizado para atender aplicações específicas
Operação com inversores de frequência sem ventilação forçada	Não necessita de circuitos auxiliares e reduz o comprimento total do motor

Fonte: Manual WEG - Motores Water Cooled

A tecnologia desenvolvida pela WEG para a refrigeração do motor *Water Cooled* dispensa o uso de vedações adicionais entre os componentes. A água percorre um circuito

totalmente fechado pelo interior da carcaça que, sendo fundida em uma peça única, elimina riscos de vazamentos. A figura 7 apresenta o corte de uma carcaça desse motor.

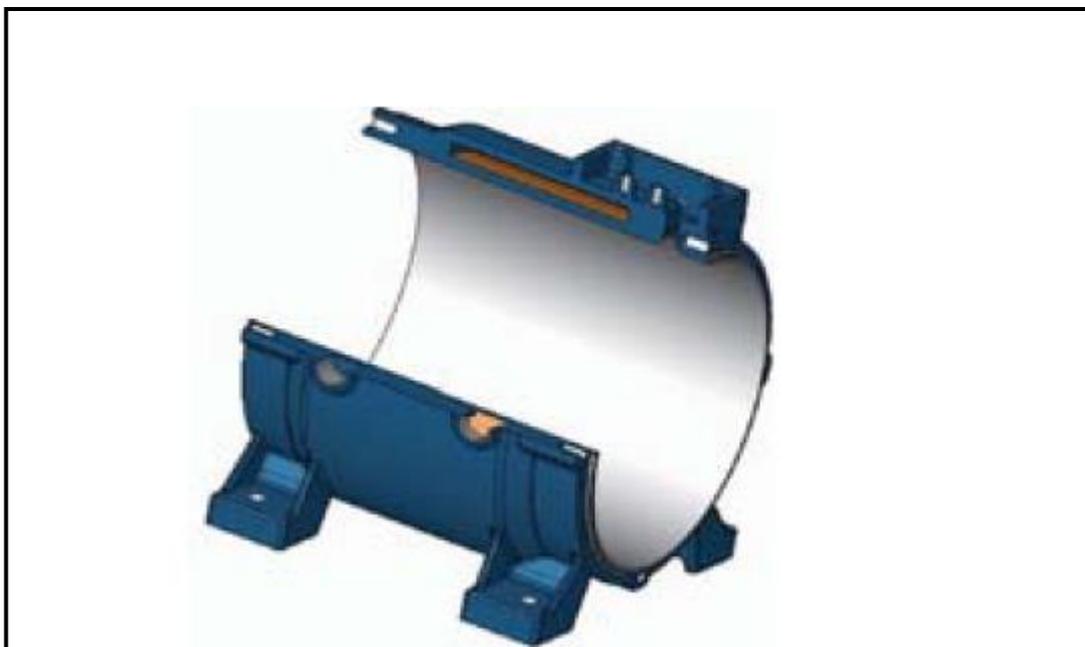


Figura 11 - Vista em corte carcaça do motor refrigerado a água

Fonte: Manual WEG - Motores Water Cooled

Os valores de vazão da água (estimados) para as carcaças refrigeradas à água, bem como a elevação de temperatura da água após circular pelo motor são mostradas na tabela 7.

Tabela 7 – Dados de vazão e elevação de temperatura

Carcaça	Vazão (litros/minuto)	Elevação de temperatura de água (°C)
180L	12	5
200M e 200L	12	5
225S/M	12	5
250S/M	12	5
280S/M	15	5
315S/M	16	6
355M/L	25	6

Fonte: Manual WEG - Motores Water Cooled

Cabe destacar que a aplicação de um motor elétrico refrigerado a água em um veículo que funcionava anteriormente com um motor a combustão interna, fará uso da estrutura existente no veículo, isso representa uma facilidade dado que num projeto original teriam que ser considerados aspectos aerodinâmicos, o comportamento térmico do motor, tipo e tamanho da tomada de ar para a convecção forçada, potência e perfil da hélice do eletroventilador além de simulações em ferramentas computacionais para a definição do escoamento do fluido de modo a maximizar o potencial de troca térmica, sem no entanto, esquecer detalhes muito importantes na atualidade como desing, potência e economia de combustível.

Em um motor de combustão interna aproximadamente um terço da energia do combustível é transformado em movimento, outro terço é expelido pelo coletor de escapamento e o último terço restante é dissipado sob a forma de calor pelo sistemas de arrefecimento, vide figura 12.

Antigamente, a preocupação era manter a temperatura do motor a combustão o mais próximo possível da temperatura ambiente pois acreditava-se que a elevação da temperatura era prejudicial ao funcionamento. A esse processo atribuía-se o nome de “sistema de refrigeração“, pois sua função era simplesmente reduzir a temperatura. As evoluções tecnológicas levaram o motor a funcionar melhor, mantendo uma temperatura mais elevada e constante, para que a dilatação dos diversos materiais aconteçam de forma controlada, conforme os cálculos da engenharia. A evolução dos sistemas alterou a função básica de reduzir a temperatura para fazer o motor aquecer-se o mais rapidamente possível, para atingir a temperatura ideal de funcionamento, manter essa temperatura e distribuí-la por todo o motor. Assim, o sistema passou a ser chamado de Sistema de Arrefecimento. (MTE- Tomson)

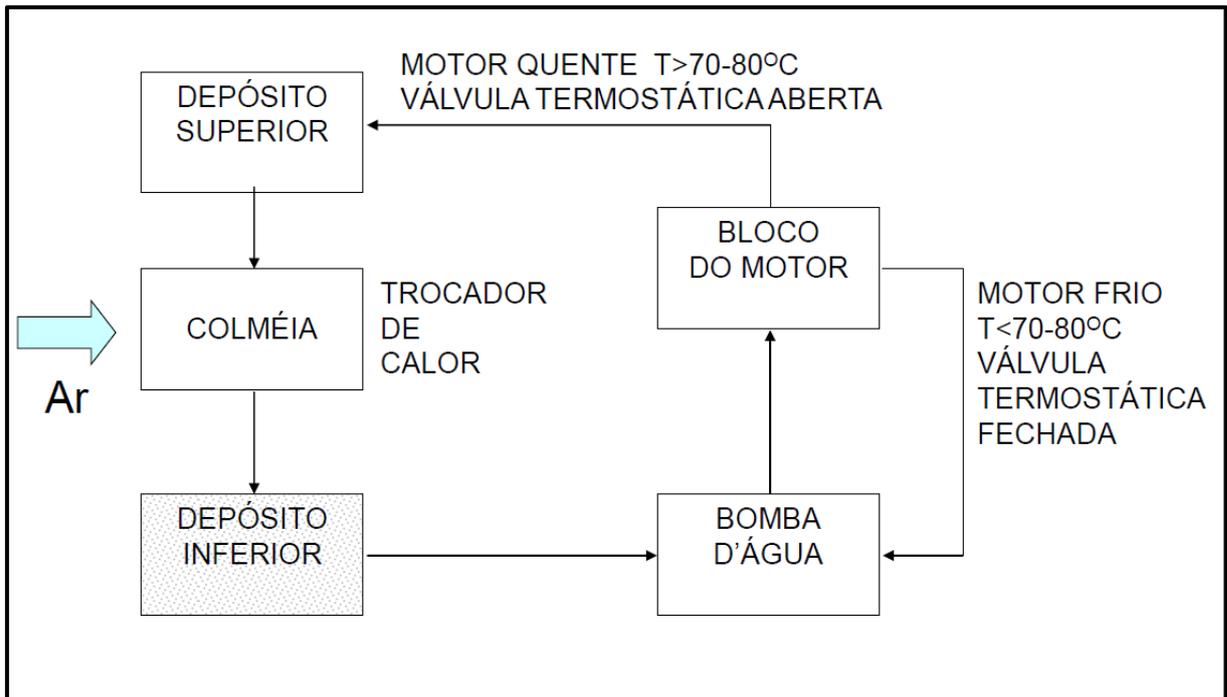


Figura 12 – Fluxo de água no sistema de arrefecimento de circulação forçada ar-água de um motor a combustão interna

Fonte: site UFRJ

Segundo (Quim, Nelson 2007), existem alguns pré-requisitos para o desenvolvimento de um projeto de um sistema de arrefecimento:

- a) Uma vazão adequada de líquido de arrefecimento no motor;
- b) Um radiador (trocador de calor) eficiente para retirar o calor proveniente do motor; e
- c) Um eletroventilador potente acoplado ao radiador para garantir a troca térmica na condição de baixa velocidade, proporcionando temperaturas adequadas aos componentes do motor.

Assim, pode-se inferir que o projeto do sistema de arrefecimento em um projeto de veículo é de extrema importância e influi diretamente no seu resultado final do projeto.

Os motores elétricos são constantemente expostos a condições hostis como esforços mecânicos e elétricos, vibração, umidade, pó, produtos corrosivos e abrasivos e altas temperaturas. Todas contribuem para a diminuição da vida útil da isolamento de motores elétricos. Cita-se que a temperatura é causa recorrente de envelhecimento do material isolante. Caso a temperatura nos enrolamentos do motor ultrapasse de 8 a 10 graus acima da temperatura limite definida pela sua classe, o motor pode ter sua vida útil reduzida pela

metade. Os dados referentes as classes normalmente constam nos dados de placa dos equipamentos elétricos.

Os materiais e sistemas isolantes são classificados conforme sua resistência à temperatura por longos períodos de tempo. As normas citadas na tabela 8 referem-se à classificação de materiais e sistemas isolantes.

Tabela 8 - Classificação de materiais e sistemas isolantes

Materiais	Sistemas	Materias e Sistemas
UL 746B	UL 1446	IEC 60085
IEC 60216	UL 1561/1562	
	IEC 60505	
	IEEE 117	

Fonte: ecatalogweg.net

As classes térmicas definidas para os materiais e sistemas isolantes são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 - Classes Térmicas

CLASSES DE TEMPERATURA		
Temperatura (°C)	IEC 60085	UL 1446
90	Y (90 °C)	-
105	A (105 °C)	-
120	E (120 °C)	120 (E)
130	B (130 °C)	130 (B)
155	F (155 °C)	155 (F)
180	H (180 °C)	180 (H)
200	N (200 °C)	200 (N)
220	R (220 °C)	220 (R)
240	-	240 (S)
Acima de 240 °C	-	Acima de 240 (°C)
250	250	

Fonte: ecatalogweg.net

No Brasil as classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura estão definidos conforme NBR 5116 e são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Composição da Temperatura em função da classe de isolamento

Classe de Isolamento	A	E	B	F	H
Temperatura ambiente °C	40	40	40	40	40
Elevação da Temperatura °C	60	75	80	100	125
Temperatura da classe °C	100	115	120	140	165
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média em °C	5	5	10	15	15
Temperatura limite da classe °C	105	120	130	155	180

Fonte: ecatalogweg.net

O motor aplicado neste projeto tem classe de isolamento H e fator de serviço igual a 1. Como será aproveitada a estrutura pré-existente do Pálio com o radiador, o eletroventilador e o termostato que irá acionar o eletroventilador a uma temperatura aproximada de 90 °C, isso garante que o motor elétrico trabalhará em uma condição intermediária ao limite previsto na sua classe de isolamento. Em adição, os sensores de temperatura, PT-100, instalados na armadura e no enrolamento do motor elétrico serão integrados ao Inversor de Frequência, o que permite programar um alarme para proteger o motor de sobreaquecimentos, caso alguma parte do sistema de arrefecimento apresente problemas.

3.4 EXECUÇÃO DA CONVERSÃO

Nesta etapa houve a necessidade de definir-se de que forma seria construída a estrutura de acoplamento do motor elétrico no veículo. A estrutura ficou definida da seguinte forma:

Transmissão: Optou-se por aproveitar a caixa de transmissão já existente no veículo para que não fosse necessário buscar no mercado alguma solução ou mesmo trabalhar no desenvolvimento de nova caixa;

Embreagem: Apesar de aproveitar-se a caixa de transmissão do veículo, foi feita a opção de usar um sistema de acoplamento direto no eixo piloto da caixa de transmissão sem usar a embreagem. O detalhe importante é que, neste caso, não será usado o kit de embreagem. O acoplamento servirá apenas para o ensaio no laboratório em uma única marcha por meio do Ciclo SAE J227a, em duas das quatro modalidades C e D.

Foram desenhadas e usinadas uma flange (figura 8) e um distanciador (figura 9), em aço 1045, que servem de apoio para toda a estrutura do motor elétrico a ser conectada a caixa de transmissão.

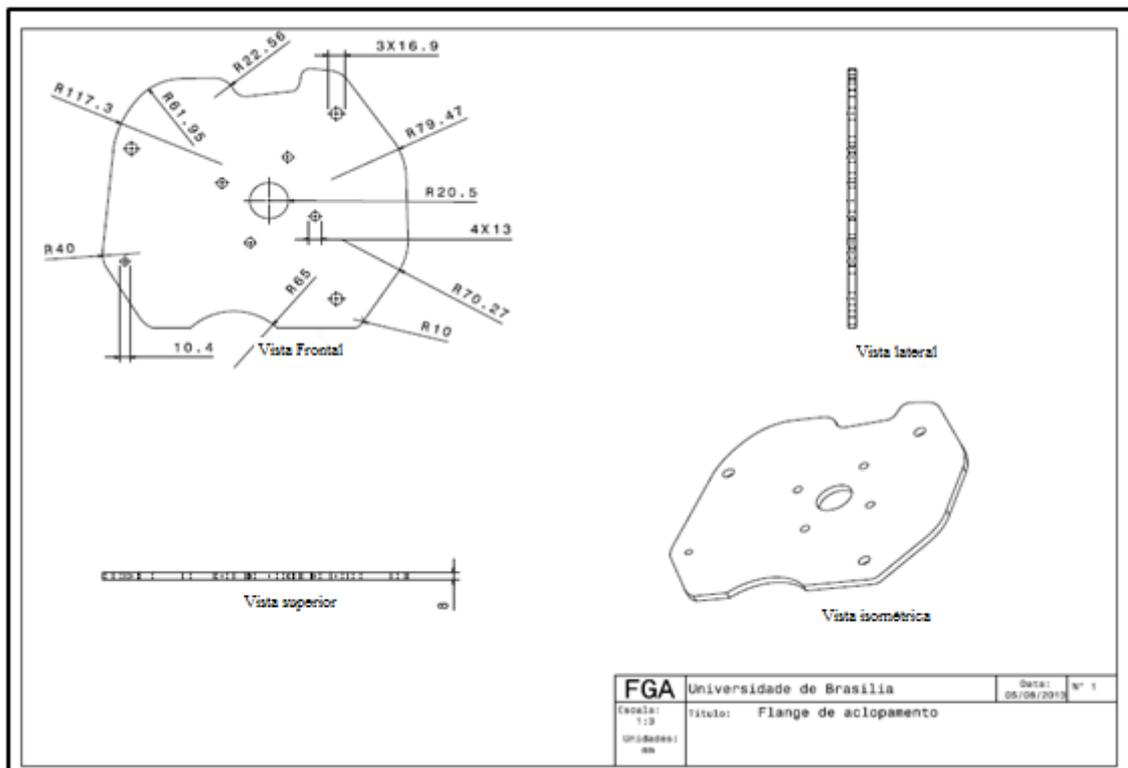


Figura 13 - Detalhamento da flange

Fonte: O autor, 2013.

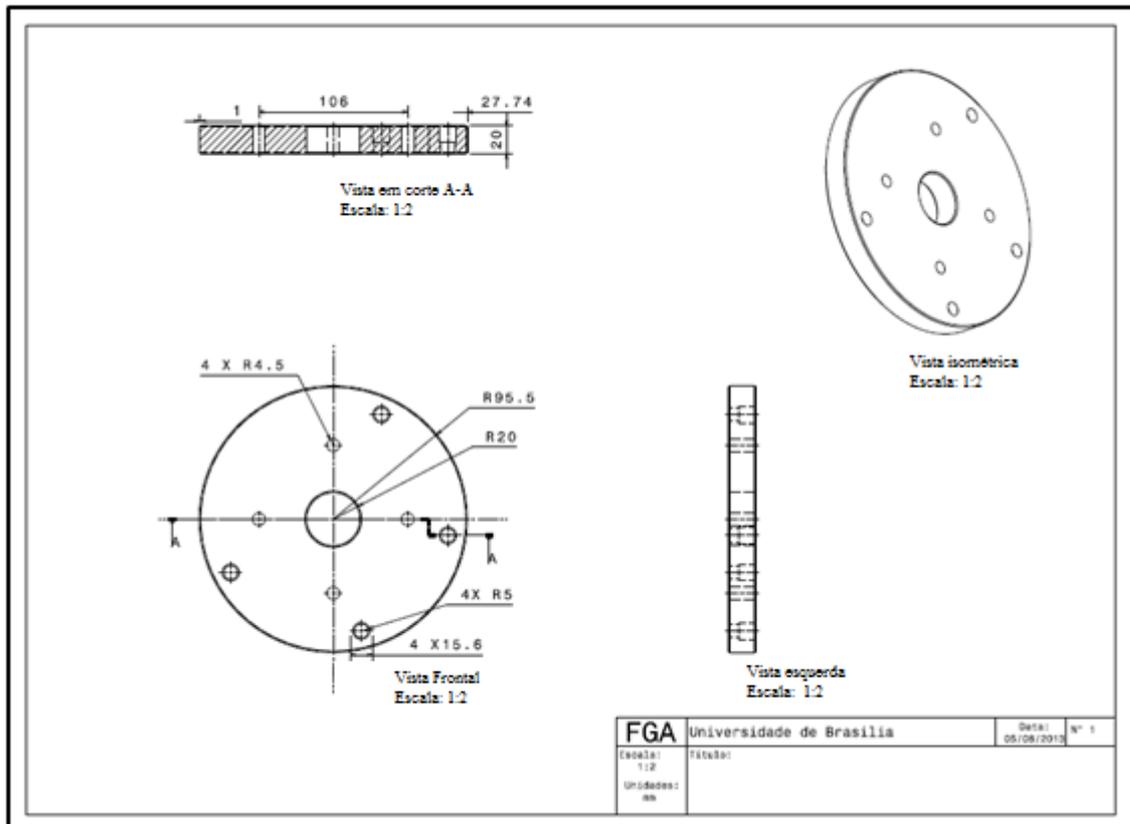


Figura 14 - Detalhamento do distanciador
Fonte: O autor, 2013.

A figura 10 apresenta o desenho das peças desenvolvidas para a fixação do conjunto e acoplamento.

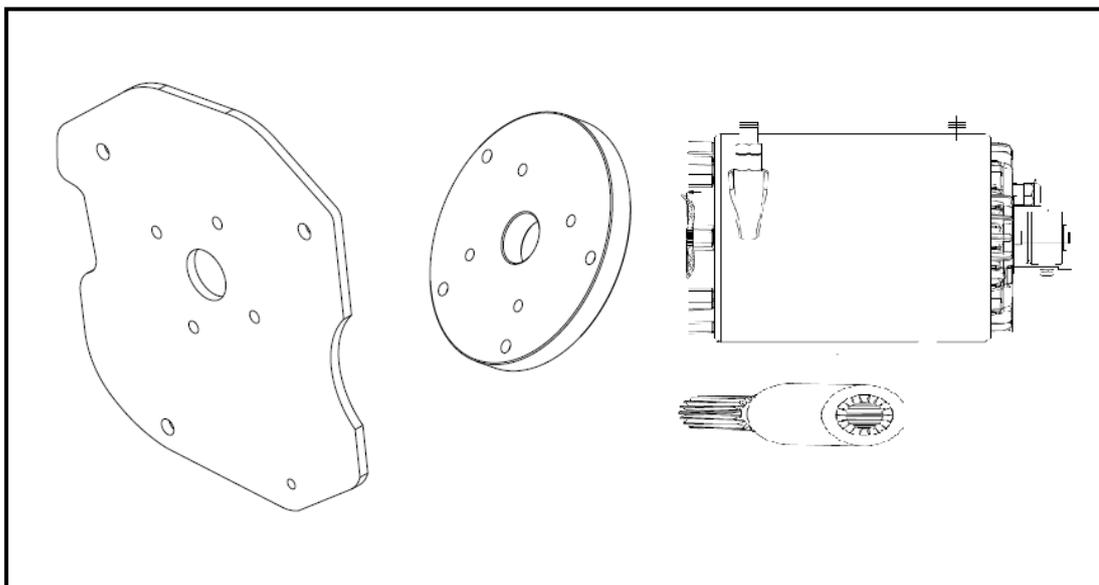


Figura 15 - Vista explodida do motor elétrico com flanges e acoplamento

Fonte: O autor, 2013.

Para o acoplamento foi usado um eixo em aço 1045 (figura 11) com as dimensões do furo do eixo do motor elétrico e também do eixo piloto da caixa de transmissão.

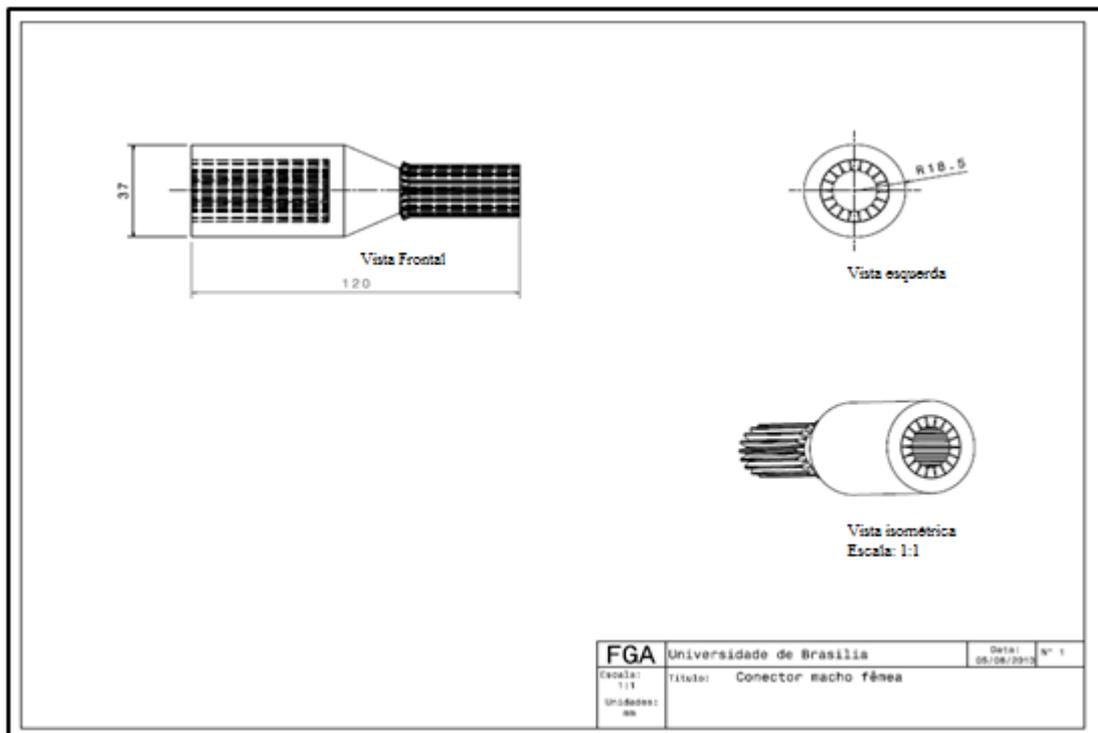


Figura 16 - Detalhamento do acoplamento

Fonte: O autor, 2013.

As peças e o processo de instalação pode ser verificado nas figuras 12 e 13.



Figura 17 - Conjunto motor, flange, acoplamento e câmbio sendo montados

Fonte: O autor, 2013.



Figura 18 - Conjunto sendo fixado

Fonte: O autor, 2013.

Neste capítulo foram relatados os passos seguidos para a definição do motor elétrico a ser utilizado na tração do veículo, levando em consideração o fato de já se dispor do veículo, isso representou uma vantagem pois, do contrário seria necessária a avaliação de uma série de outras condições para transpor essa etapa, conforme recomendados por (Costa, 2012).

Cabe destacar os ganhos de espaço e redução massa consideráveis pelo simples uso de um motor refrigerado a água. Para se ter uma estimativa do ganho, a relação peso/potência nos dias atuais em motores de indução é da ordem de 5,7 kg/kw, enquanto nesse motor a relação é de aproximadamente 2,6 kg/kw.

4 PROJETO E EXECUÇÃO DA BANCADA

Dentro da estrutura da plataforma, a bancada tem um papel muito importante, o de reunir todos os componentes necessários para reproduzir o banco de baterias, sistemas de proteção e toda a parte de controle e potência, sem que nenhum desses componentes e sistemas esteja instalado no veículo.

A bancada é composta por um quadro de comando elétrico que recebe tensão da rede e conecta o transformador rebaixador trifásico de 380/220V de 30kw por meio de dispositivos de conexão e proteção. O conjunto dispõe também de um inversor de frequência e resistores de freio interconectados ao quadro de comandos elétricos. O projeto obedece as normas NBR 9050 e a NR 12.

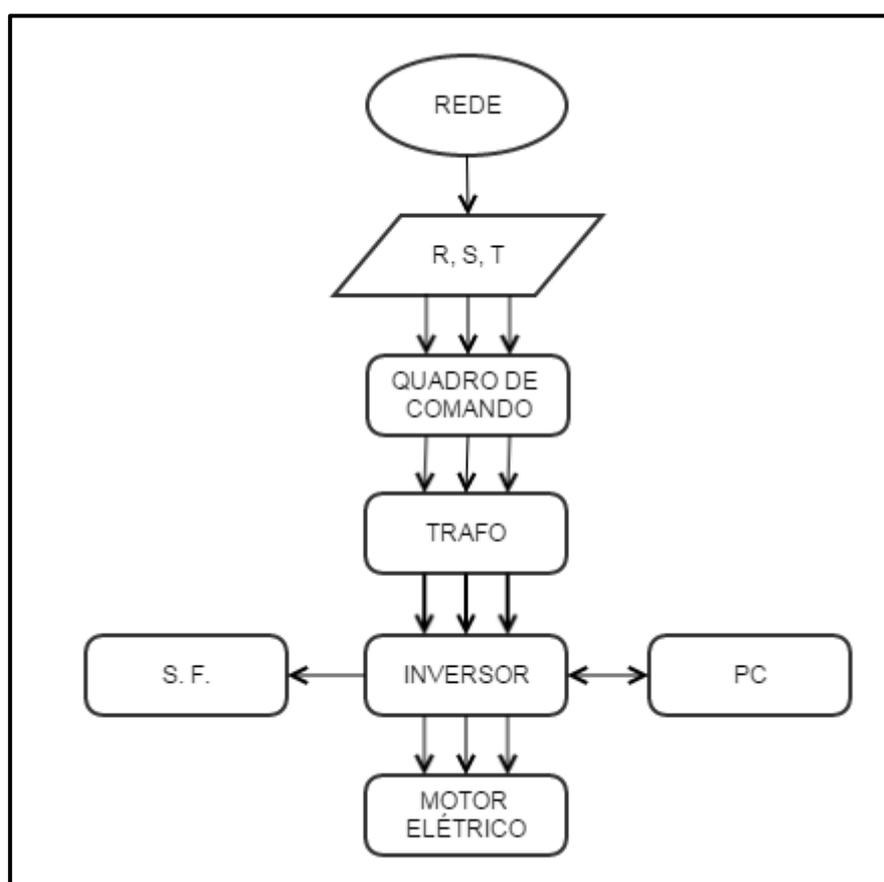


Figura 19 – Diagrama dos componentes da banca de ensaios

Fonte: O autor, 2013.

No diagrama da figura 14 podem-se identificar de forma esquemática os elementos que compõem a bancada:

- Trafo – O transformador recebe tensão de 380 volts trifásico da rede elétrica e a rebaixa para 220 volts trifásico. Está conectado ao Quadro de Comando Elétrico onde fica os sistemas de proteção e as conexões que alimentam o Inversor de Frequência;
- Quadro de comandos elétricos – Concentra os componentes de controle e segurança relativos ao primário e ao secundário do Transformador;
- Inversor de Frequência – Responsável pelo envio de alimentação do Motor Elétrico. Recebe a alimentação do secundário do Transformador através do Quadro de Comando Elétrico e pode ser acessado tanto pela sua Interface Homem Máquina (IHM) como pelo computador;
- S.F. – Sistema de Freio. Funciona interligado ao Inversor de Frequência e pode ser usado para freiar o motor elétrico. Dissipa energia elétrica por efeito Joule; e

Além dos componentes ilustrados na figura 14, o dinamômetro dispõe de um controle dinâmico, equipamento usado para inserir resistência por meio do freio magnético que foi instalado a parte da bancada, por questões de mobilidade.

4.1 SISTEMA ELÉTRICO DA BANCADA

O projeto elétrico foi desenvolvido de modo a promover segurança e confiabilidade na operação. Assim, foram introduzidos no seu projeto diversos equipamentos tais como seccionadoras, contadores, fusíveis e outros equipamentos elétricos integrados neste sentido.

A figura 15 apresenta o trifilar do sistema elétrico da bancada.

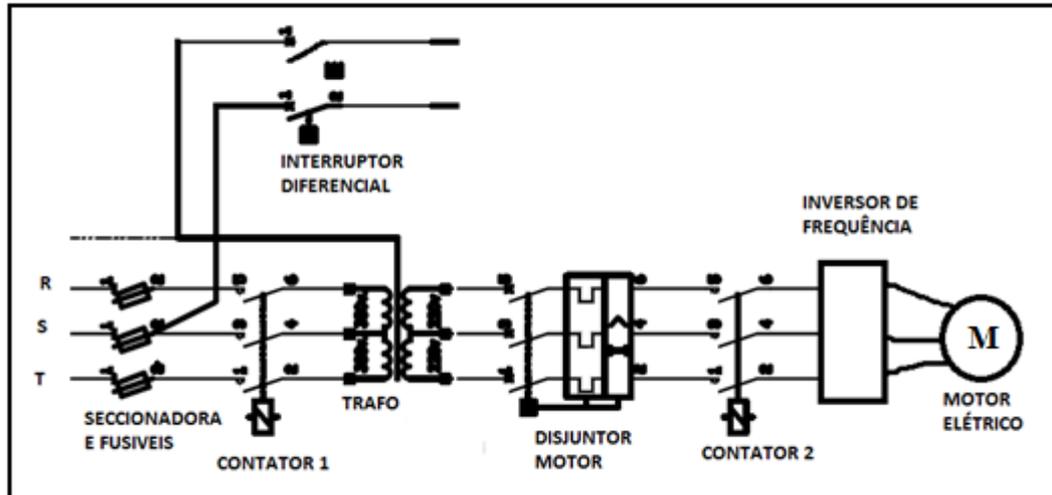


Figura 20 – Trifilar das proteções da bancada de ensaios

Fonte: O autor, 2013.

4.2 QUADRO DE COMANDO

O quadro de comando apresentado na figura 16 dispõe de componentes como: chave seccionadora tripolar, fusíveis ultra-rápidos, potenciômetro e indicadores luminosos de operação. Além dos equipamentos necessários para a realização dos testes no motor, existem também os equipamentos responsáveis pela proteção, comando e conexão da bancada, que são a chave seccionadora, o contador, o disjuntor em caixa, disjuntores motor e tomadas industriais que usam interruptor diferencial para proteção.



Figura 21 – Quadro de comando elétrico

Fonte: O autor, 2013.

4.3 TRANSFORMADOR

Os transformadores são utilizados para realizarem a elevação ou a redução dos níveis de tensão sendo em alguns casos de extrema importância para a funcionalidade dos componentes de um sistema. No caso da bancada de testes, para que os equipamentos funcionem de maneira adequada é necessário utilizar um transformador rebaixador de 380/220 Volts trifásico.

Como a bancada de testes realizará ensaios com motores de potência elevada, como o motor elétrico de 22 kW o transformador tem 30 kW de potência (vide figura 17).



Figura 22 – Transformador da bancada de ensaios

4.4 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

O Inversor de Frequência é o principal equipamento da bancada, sendo por meio dele que a partida e o controle do motor elétrico são realizados. O controle realizado pelo inversor ocorre a partir de variações de frequência e tensão no barramento do motor, que é feito com o uso de transistores, possibilitando que o sinal de saída determine a velocidade e o sentido de rotação desejada para do motor elétrico. Além disso, o inversor atenua a corrente de pico ocasionada pela partida do motor, o que evita um superdimensionamento dos condutores do sistema de alimentação do carro elétrico. O diagrama típico de um inversor de frequência é apresentado na figura 18.

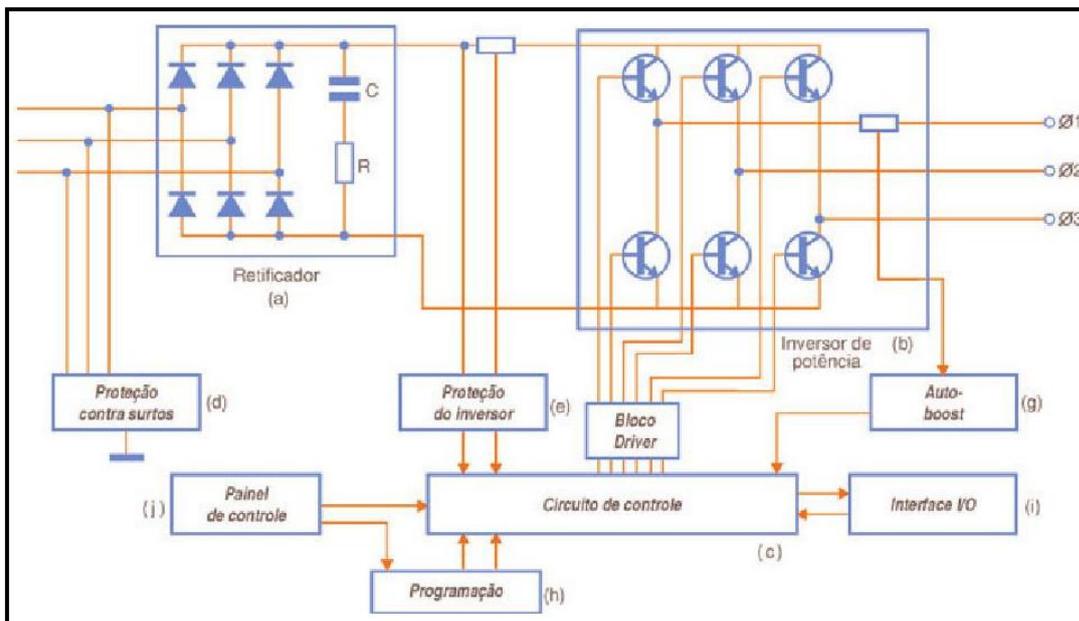


Figura 23 – Diagrama de um inversor de frequência típico

Fonte: Mecatrônica Atual

O modelo de Inversor de Frequência utilizado para o projeto foi o CFW 11 0105 T2 da empresa WEG. Esse inversor é alimentado com tensão de 220 Volts trifásico, sendo que a corrente máxima de funcionamento é de 105 Amperes. O controle desse inversor pode ser feito através de um comando local, através de uma Interface Homem Máquina (IHM) ou a partir de um comando remoto, que pode ser realizado com o uso de chaves e de um potenciômetro. O monitoramento dos parâmetros controlados pelo inversor pode ser realizado por essa IHM ou então a partir do *software* Super Drive G2. O uso do comando remoto do inversor permite que o controle seja realizado a partir de componentes típicos em automóveis, como a um pedal de acelerador dotado de potenciômetro no lugar do potenciômetro do inversor e uma chave de acionamento do motor, mas para isso é preciso realizar algumas adequações. Com o referido *software* pode-se acessar todas as funcionalidades do comando remoto, além de permitir identificação online do drive conectado, edição e transferência de parâmetros entre o drive e o Computador, monitoração gráfica de parâmetros e comunicação, importação e visualização de variáveis armazenadas na função Trace do drive. A figura 19 mostra uma imagem da tela do Super Drive G2.



Figura 24 – Tela do software Super Drive G2

Fonte: Weg.net

O inversor de frequência CFW-11 é um produto de alta performance que permite o controle de velocidade e torque de motores de indução trifásicos. A característica central deste produto é a tecnologia “Vectrue”, a qual apresenta as seguintes vantagens:

- controle escalar (V/f), V V W ou controle vetorial programáveis no mesmo produto;
- o controle vetorial pode ser programado como “*sensorless*” (o que significa motores padrões, sem necessidade de encoder) ou como controle vetorial com encoder no motor;
- o controle vetorial “*sensorless*” permite alto torque e rapidez de resposta, mesmo em velocidades muito baixas ou na partida;
- o controle vetorial com encoder possibilita alto grau de precisão no acionamento, para toda faixa de velocidade ;
- função “frenagem ótima” para o controle vetorial, permitindo a frenagem controlada do motor, eliminando, em algumas aplicações, o uso do resistor de frenagem;

- a função “autoajuste” para o controle vetorial permite ajuste automático dos reguladores e parâmetros de controle, a partir da identificação (também automática) dos parâmetros do motor e da carga utilizada. (Manual do Inversor CFW 11)

A figura 20 mostra uma foto da bancada com todos os componentes apta a ser usada nos ensaios.

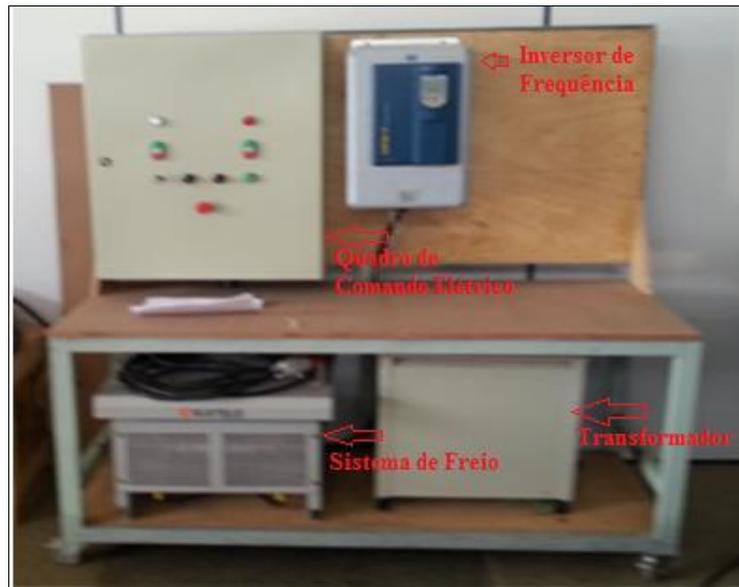


Figura 25 – Foto da bancada elétrica montada

Fonte: O autor, 2013.

5 INTEGRAÇÃO DO DINAMÔMETRO

Finalizada a conversão e a construção da bancada, passou-se para a instalação do dinamômetro para permitir integrá-lo à plataforma. Cabe destacar que o equipamento estava armazenado há pelo menos quatro anos, pois foi adquirido para outro projeto de pesquisa e por motivos desconhecidos não chegou a ser usado.

Foi escolhido um local para colocá-lo em operação levando em conta critérios de segurança e acessibilidade, além de permitir o uso de pontos de fixação para as cintas de segurança que mantêm o veículo afixado em cima da prancha.

5.1 DINAMÔMETROS

Com o advento das máquinas a vapor no século XVIII e, posteriormente, com o desenvolvimento de motores de combustão interna, surgiu a necessidade de medir-se os efeitos dinâmicos daquelas máquinas, tais como momento angular, torque, potência etc.

Em 1821, Gaspard Riche de Prony, um físico francês, desenvolveu o primeiro dispositivo com essa finalidade: o freio de Prony. Esse equipamento consistia de um dinamômetro de fricção, indubitavelmente eficiente para a época, e que foi insubstituível por quase um século. (VIANA, 2011).

Décadas se passaram até a introdução do freio hidráulico por Willian Froude, engenheiro naval, em 1877. Posteriormente, com o desenvolvimento de motores de corrente contínua, foi concebido em 1883 o dinamômetro de corrente contínua. (SHERIF, 1985 apud VIANA, 2011).

Apesar das contribuições sobre a teoria de dinamômetros de correntes parasitas serem formuladas pelo físico Francês Jean Bernard Leon Foucault, (1819-1868), o método somente foi implementado em um dispositivo por volta de 1928. Nesse período a medição de desempenho era voltada apenas para validação de motores de combustão interna. (SHERIF, 1985 apud VIANA, 2011).

Com a criação do sistema de transmissão, a análise de desempenho passou para o veículo como um todo e os testes tiveram que ser aprimorados. Discussões sobre seu desenvolvimento são citadas em relatórios da Sociedade de Engenharia Automotiva (SAE) datados de 1951, nos quais o foco da pesquisa era a medição de desempenho dos sistemas de

freios veiculares. Nesses documentos foram descritos, em detalhes, o funcionamento e o processo de utilização do equipamento, que recebeu o nome de Dinamômetro de Inércia. (JOERGES; SHINN, 2001 apud VIANA, 2011).

Os dinamômetros de inércia eram usados para duas funções distintas: a medição de desempenho em sistemas de freios veiculares e a medição de desempenho de motores e sistemas de transmissão conjugados.

Em diversas referências bibliográficas os dinamômetros citados anteriormente são caracterizados como dinamômetros de absorção, cuja finalidade é absorver a energia gerada pelo motor. Existem ainda dinamômetros de transmissão descritos como transmissores de energia para o sistema.

Os dinamômetros podem ser classificados de diferentes formas, principalmente com relação aos seus modelos. (VIANA, 2011).

5.1.1 Dinamômetro De Correntes De Foucault

O princípio do funcionamento de um Dinamômetro de Corrente de Foucault, representado na Figura 21, está intrinsecamente ligado ao fenômeno de geração de correntes elétricas parasitas no interior de massas metálicas condutoras, imersas em campos magnéticos variáveis, denominadas Correntes de Foucault. (SOUZA, 2005 apud VIANA, 2011).

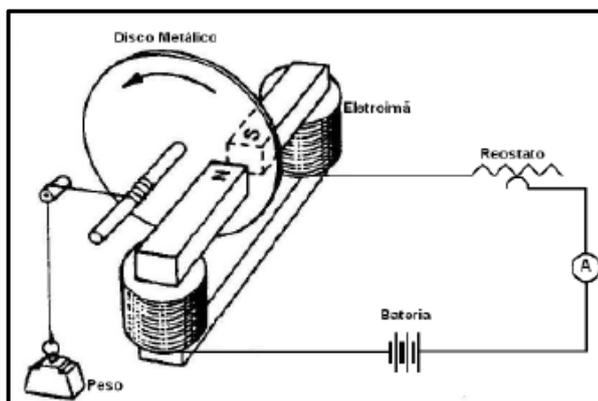


Figura 26 - Princípio de funcionamento do dinamômetro de Corrente de Foucault

Fonte: Haical, 2009.

Quando o sistema está desligado, livre da presença de corrente de alimentação nos ímãs, o disco metálico não encontra dificuldades em realizar o movimento. Porém, é freado no momento em que uma corrente parasita inicia sua circulação proporcionalmente a

velocidade do disco. O fenômeno físico descrito nessa situação é definido pela Lei de Lenz, que é enunciada resumidamente na seguinte forma: “Qualquer corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético que ela gera se opõe à variação do fluxo magnético que a produziu.” (HAICAL, 2009; SOUZA, 2005 apud VIANA, 2011).

A figura 21 representa o princípio de funcionamento de um dinamômetro de corrente contínua. Quando o *eletroíma* é alimentado por uma corrente elétrica, ele induz um campo magnético ao redor do *disco metálico*. Esse campo gera as correntes de Foucault no disco que por sua vez, gera campos magnéticos opostos aos primeiros induzidos, freando o sistema. A variação da corrente produz a variação de torque no dinamômetro. A medição desse torque é feita transferindo-se o valor para o instrumento por meio de uma alavanca.

A larga utilização desse dinamômetro está relacionada com a produção de torques elevados em baixas rotações, com a rapidez na resposta às variações de carga e com a sua grande robustez. (VIANA 2011).

5.1.2 Dinamômetros De Corrente Alternada

O dinamômetro de corrente alternada tem como característica a geração de energia elétrica em seus terminais na realização de procedimentos de teste em equipamentos, razão pela qual é descrito a partir do princípio de funcionamento de um gerador elétrico. Essa energia é absorvida por uma carga variável, que pode ser uma cuba eletrolítica ou um banco de resistores.

Para a realização de testes mais precisos é necessária a correção dos instrumentos a fim de compensar perdas no rendimento do gerador. Os benefícios dessas máquinas são a utilização do dinamômetro como motor para acionamento do equipamento em teste, o tamanho reduzido e o baixo custo. (HAICAL, 2009 apud VIANA, 2011).

5.1.3 Dinamômetros de Corrente Contínua

Da mesma maneira que os dinamômetros de corrente alternada, os dinamômetros de corrente contínua acionam ou freiam o equipamento em teste, funcionando como motor

elétrico ou como gerador. A partir da força aplicada em uma célula de carga por um braço de alavanca conectado à carcaça do gerador e do comprimento deste mesmo braço é possível calcular o torque. (VIANA 2011).

5.2 DINAMOMETRO DA PLATAFORMA

O dinamômetro *DYNomite Dynamometer AC refrigerado a ar automotivo* que foi usado nos ensaios é de origem americana e é do tipo AC (correntes de Foucault). Ele mede a carga de controle, em microsegundos, além disso aplica automaticamente os fatores de correção SAE para temperatura do ar, pressão barométrica e umidade relativa.



Figura 27 – Dinamômetro no laboratório

Fonte: O autor, 2013.

Um computador, por meio do programa DYNO-MAX, apresenta os dados adquiridos no monitor e faz registro real de Potência, Torque, RPM, tempo decorrido podendo fazer até 1000 leituras por segundo em cada canal.

Permite também simular as condições de condução por meio do programa e do PC utilizando a função " *road load simulation* " que simula a arrancada do veículo, resistência do

ar, o atrito de rolamento, etc. sendo necessário que seja fornecido dados do veículo como o peso e dados de arrasto. Dispõe de uma biblioteca com diversos modelos de veículos que utilizam motores a combustão interna sendo capaz de fazer correções em função para características ambientais onde acontece o ensaio como altitude, temperatura ambiente, humidade e densidade do ar.

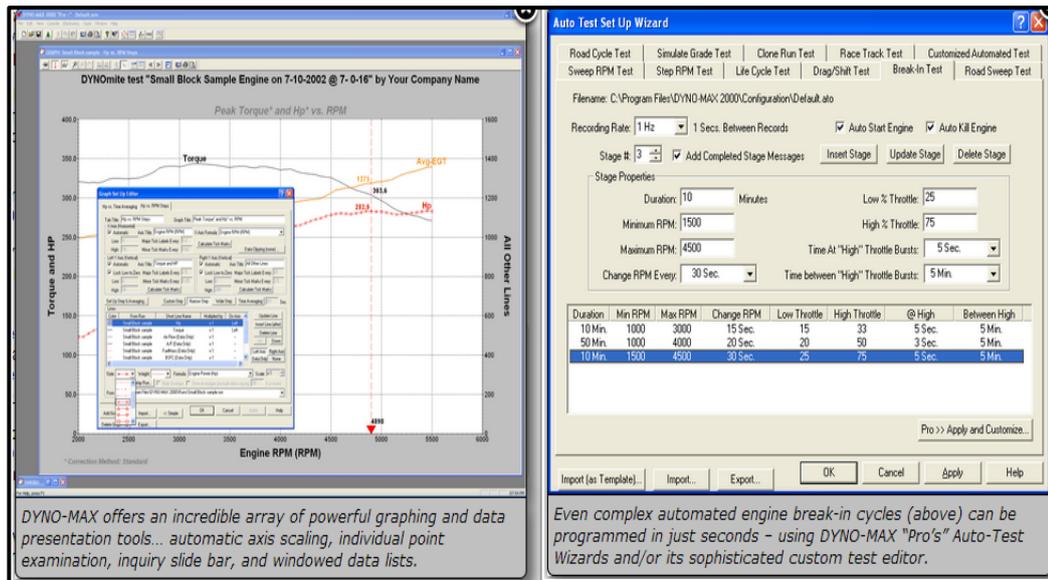


Figura 28 – Tela do software DYNO MAX

Fonte: site *DYNomite Dynamometer*

O dinamômetro é composto de transdutores que monitoram a frequência de rotação dos rolos e o torque que são usados para determinar a potência em diversos regimes de ensaio. Para os ensaios deste trabalho foi utilizada a instrumentação do dinamômetro para levantar as curvas de torque e potência do veículo a ser ensaiado.

O diagrama de blocos apresentado na figura 24 demonstra os passos para a coleta de informações no sistema utilizando o software do equipamento na ilustração A e os passos necessários para coleta de dados durante o ensaio na ilustração B.

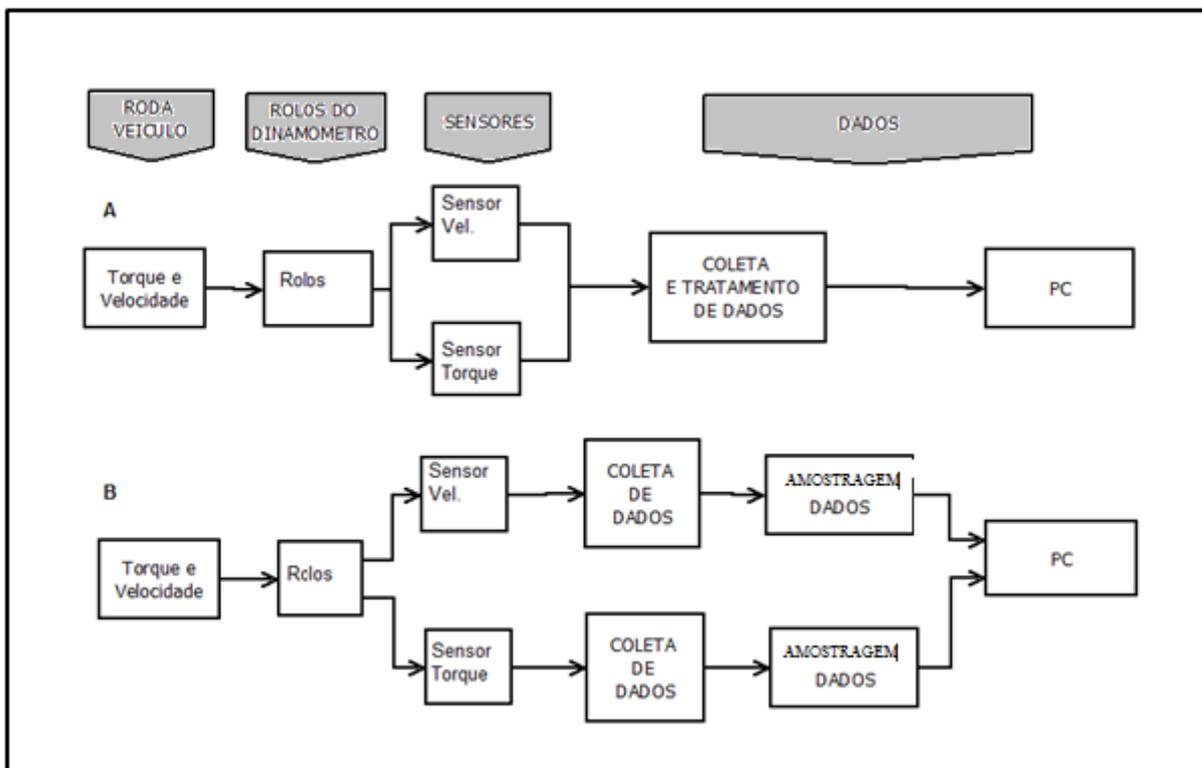


Figura 29 – Diagrama de blocos do funcionamento do Dinamômetro (A) com software (B) caminho alternativo

Fonte: O autor, 2013.

Os dados do dinamômetro são oriundos dos transdutores sendo que o primeiro é uma célula de carga tipo *straing gage* e o segundo um sensor de rotação indutivo (vide ilustração figura 30). Foi necessário fazer a calibragem de ambos para obter-se maior confiabilidade na coleta dos dados. *Straing gage* é um componente que mede a variação de resistência elétrica proporcional a deformação da bitola de um corpo e que normalmente atua numa ponte tipo *Wheastone* no lugar do resistor variável. Na figura 31 pode-se observar a célula de carga usada que é da marca Total Comp e tem capacidade de medir até 680 kgf, com resolução de 3 mV/V e um erro da ordem de 0,03%. Para fazer as leituras foi utilizado um mostrador da marca MK modelo 2030.

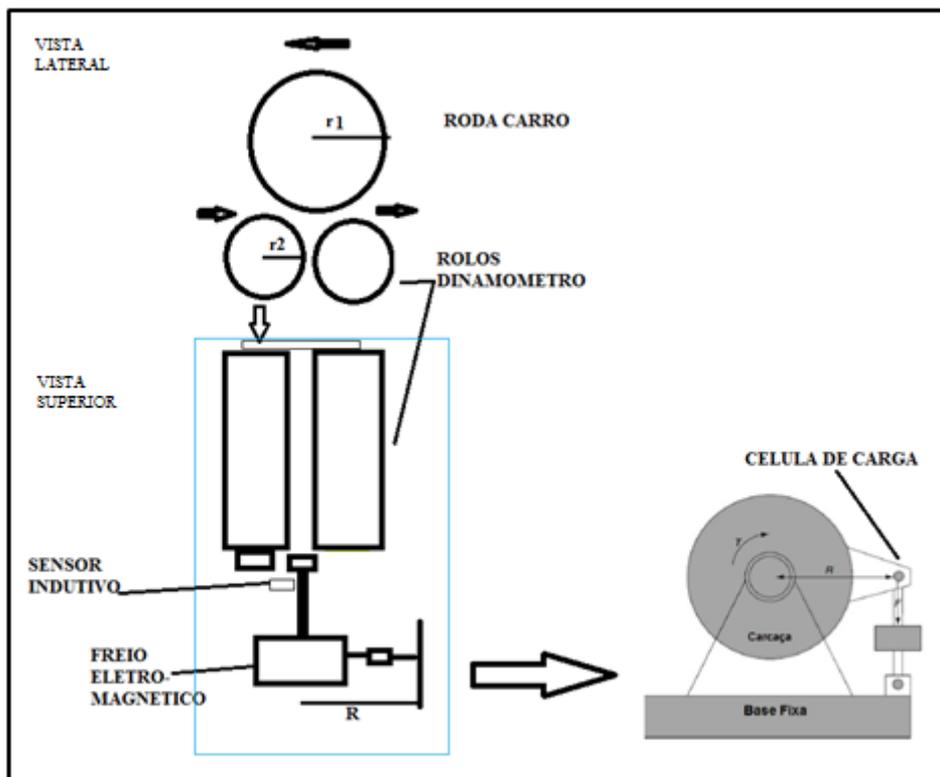


Figura 30 – Esquemático da instrumentação no dinamômetro



Figura 31 – Célula de carga do dinamômetro

Fonte: O autor, 2013.

Para medir a velocidade no dinamômetro o sensor indutivo, mostrado na figura 26, foi instrumentado e calibrado. Junto com ele foi utilizado um mostrador da marca Wika.



Figura 32 – Sensor indutivo do dinamômetro

Fonte: O autor, 2013.

Apesar da impossibilidade de se usar toda a funcionalidade do dinamômetro com o *software* do fabricante do equipamento, foram feitos ajustes, calibrações e inseridos fatores de correção necessários para a realização dos experimentos de modo a garantir uma boa precisão na medidas

6 ENSAIO E ANÁLISE DOS DADOS

Nesta etapa foi implementada a integração da proposta utilizando os instrumentos, quadros e programas da plataforma (vide figura 33). Os ensaios foram feitos em ambiente controlado de modo a avaliar a funcionalidade dos equipamentos, o comportamento do veículo convertido e as requisições de energia do veículo para o dimensionamento e a escolha da tecnologia das baterias. Para a realização dos ensaios foram efetuados testes em três etapas distintas: (i) análise do comportamento da temperatura do motor elétrico refrigerado a água; (ii) levantamento de torque e potência do veículo convertido; e (iii) ciclos de condução.

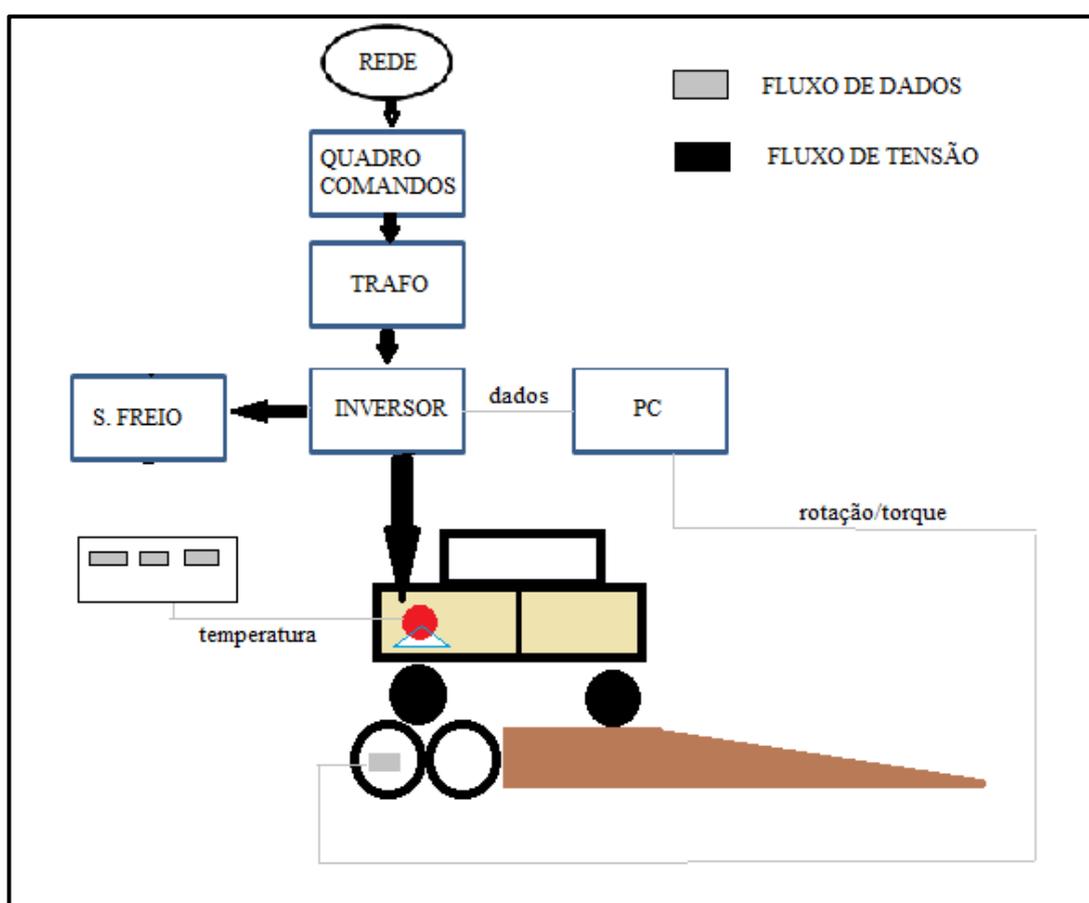


Figura 33 – Diagrama da plataforma de ensaios
Fonte: O autor, 2013.

6.1 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA

Antes de apresentar os dados colhidos é importante tecer algumas considerações sobre a disposição dos sensores de temperatura, são do tipo PT-100 e vem instalados de fábrica.

São nove sensores distribuídos entre parte frontal, enrolamento e parte traseira do motor elétrico o que permite realizar a leitura e supervisão de forma precisa da temperatura do motor, conforme esquema apresentado pela figura 34.

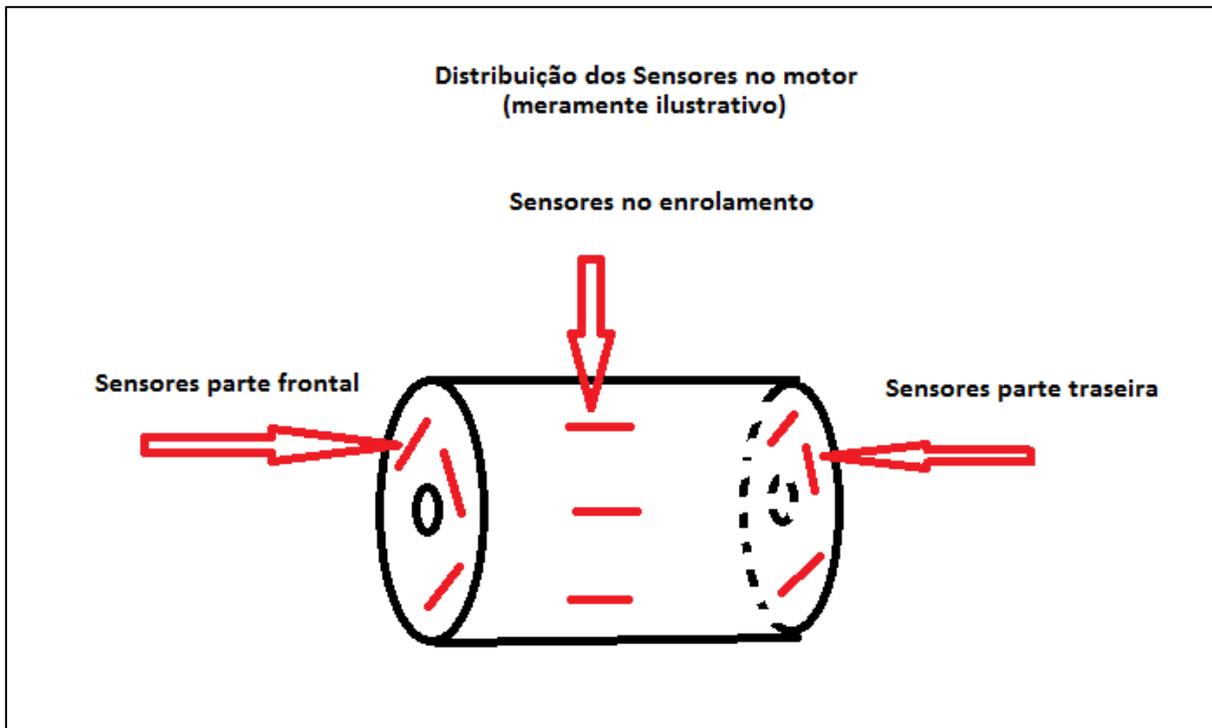


Figura 34 – Ilustração da disposição dos sensores

Fonte: O autor, 2013.

Para avaliar a elevação da temperatura foi realizado um ensaio onde o motor foi energizado (partindo do repouso em temperatura ambiente) até atingir a rotação de 1600 rpm, atingindo a velocidade de aproximadamente 20 km/h, por um período de aproximadamente 25 minutos, supondo um percurso regular e sem aclave.

Como para cada região distinta existem três sensores, optamos por usar a média das medidas de cada conjunto de sensores pois na grande maioria das vezes não houve diferença considerável nas leituras observadas.

O gráfico apresentado na figura 35 demonstra a elevação da temperatura em graus Celsius desde o início e seu decaimento por mais 35 minutos com o motor desligado.

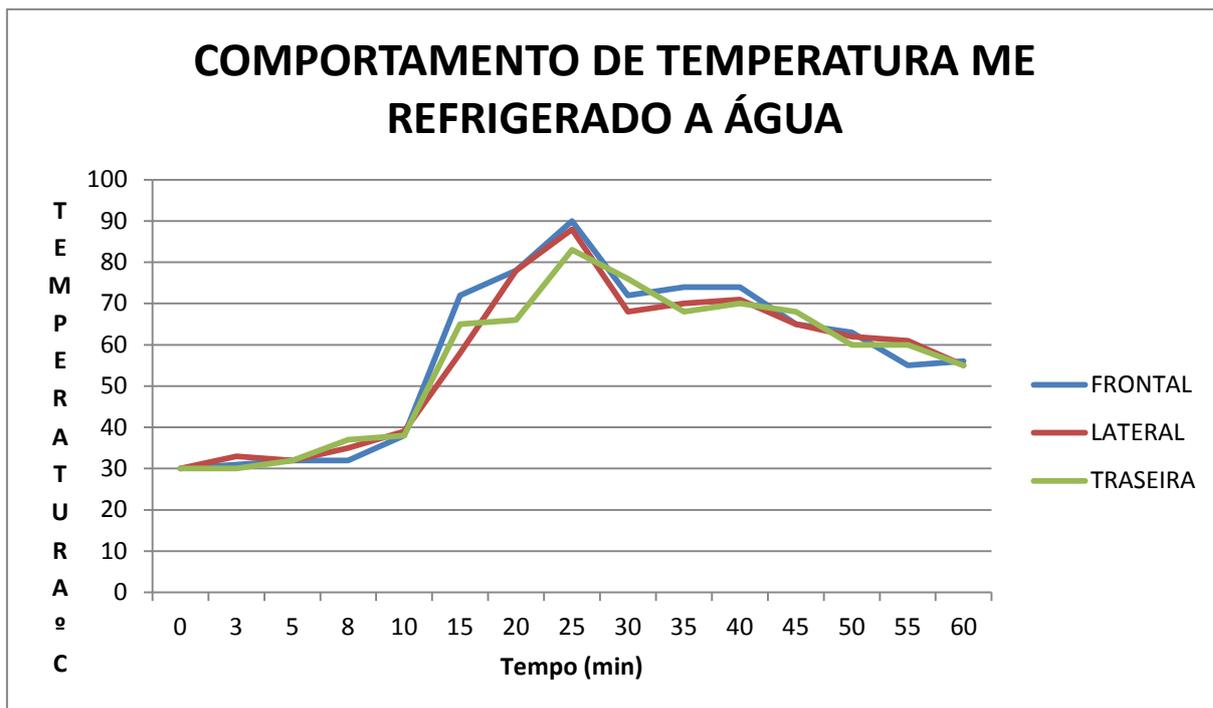


Figura 35 – Gráfico da elevação da temperatura durante o ensaio

Fonte: O autor, 2013.

Durante o ensaio não houve a circulação do fluido de arrefecimento, neste caso, conforme orientação do fabricante do motor elétrico, foi aplicado o mesmo fluido de arrefecimento usado em radiadores de veículos com motores a combustão interna, aditivos de radiador (que têm etilenoglicol, (álcool) em sua composição) que previnem o congelamento, o superaquecimento e a corrosão.

O objetivo foi avaliar o aumento de temperatura e a estratégia mais adequada para gerenciamento do trabalho da bomba elétrica de circulação do fluido de arrefecimento.

Nesse ensaio foram utilizados mostradores multifuncionais da marca Wika, por meio dos quais foram lidas as informações de temperatura do motor elétrico. As leituras de dados mostraram que, em alguns momentos, alguns valores eram inconsistentes por não terem um comportamento regular de forma ascendente, o que acreditamos ser possivelmente proveniente de interferência eletromagnética no sistema.

Nesse ensaio foi possível observar que é de suma importância que se faça uso de um termostato com acionamento na faixa de 90 °C e usar as funções do inversor para leitura e

supervisão da temperatura para que sejam criadas proteções para prevenir o superaquecimento do motor elétrico.

A ascensão da temperatura aconteceu de forma rápida, ficando patente que a parte frontal do motor aquece mais que a região do enrolamento e do mancal traseiro do motor elétrico.

6.2 ANALISE DE TORQUE E POTENCIA NO DINAMÔMETRO

Fazendo-se uso dos transdutores disponíveis no dinamômetro e de equipamentos para leitura procedeu-se uma sequência de três ensaios nas mesmas condições no veículo para levantar os valores máximos de torque e potência do veículo convertido no dinamômetro. No ensaio optou-se por variar a rotação máxima do motor em degraus de 500 rpm até atingir 3000 conforme apresentado na tabela 11. Lembrando que a rotação nominal desse motor elétrico é de 2930 rpm, o ultimo estágio deste ensaio foi executado de forma breve. A frenagem magnética foi determinada numa faixa limite suportável pela estrutura do sistema, a figura 36 apresenta o comportamento de torque e potência no ensaio.

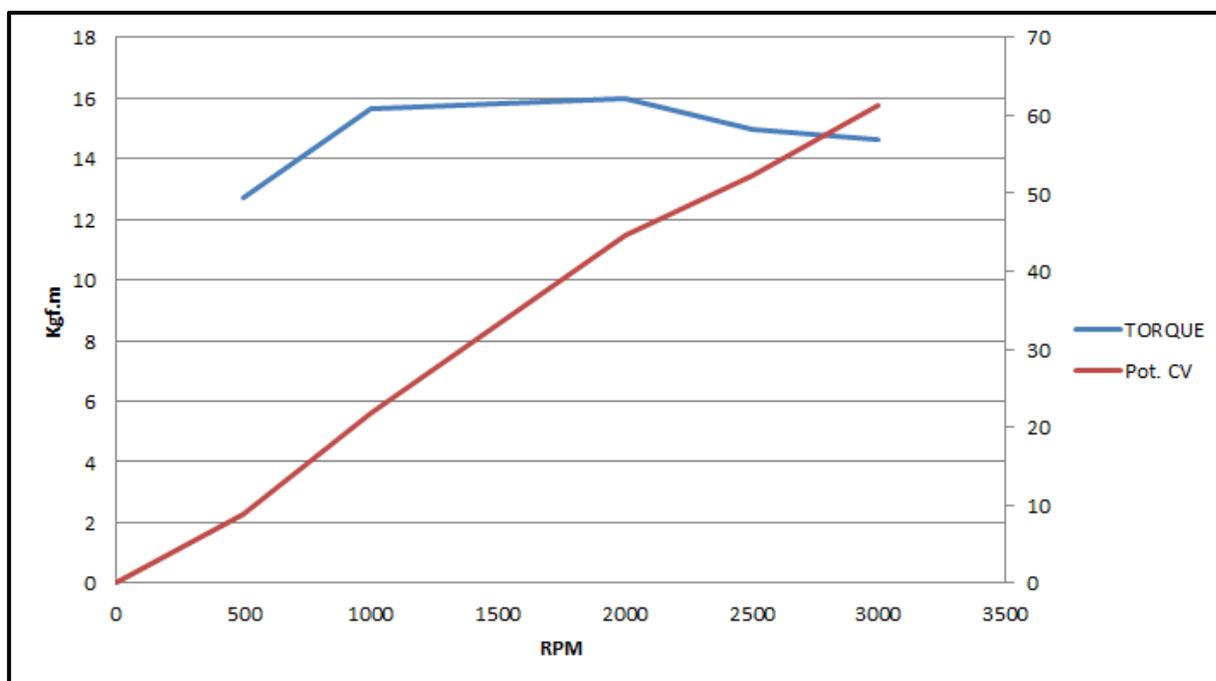


Figura 36 – Curva de Torque e Potência do veículo

Fonte: O autor, 2013.

Tabela 11 – Dados do ensaio de torque e potência do veículo

RPM	TORQUE Kgfm	Pot. CV	Pot. NM	Pot. KW
0		0		
500	12,7	8,866	124,5	6,521
1000	15,67	21,88	153,7	16,09
1500	15,84	33,18	155,3	24,4
2000	16,01	44,71	157	32,88
2500	14,98	52,29	146,9	38,46
3000	14,64	61,32	143,6	45,1

Fonte: O autor, 2013.

6.3 CICLO DE ENSAIOS

O grande entrave dos veículos elétricos é a capacidade de armazenar a energia e este aspecto influi diretamente na sua autonomia. Em qualquer caso, essa questão é crítica no projeto de um veículo elétrico. Dessa forma, nos cálculos e testes a autonomia de um veículo é sempre um elemento complexo.

Para que os veículos sejam testados, os ciclos de ensaio devem ser projetados de forma a simular, da forma mais realística possível, as condições as quais vão ser submetidos. A forma mais simples de testar um veículo é supor que a sua velocidade será constante, que na verdade é uma situação hipotética, pois o veículo é submetido a condições adversas relativas ao pavimento, arrasto aerodinâmico entre outras. Entretanto, esse teste é importante pois serve de linha de base para comparação. A segunda forma de testar o veículo seria definir um perfil de velocidade de maneira a simular uma condição mais real de teste, sendo que existe um grande número de variações definidas por normas. (Larminie, 2003)

Conforme pode ser observado, as formas de testar os veículos são chamadas de ciclos de ensaios. De modo a serem o mais próximo da realidade, tais ciclos devem representar diversas condições ambientais e isso afeta os diversos componentes do sistema, o que torna os cálculos ainda mais complexos.

Para facilitar a condução de ciclos mais complexos atualmente existem programas que conseguem simular perfis de utilização do veículo. Esses ciclos de condução têm sido desenvolvidos principalmente para viabilizar os testes relativos a emissões veiculares. Um dos mais conhecidos e que é baseado em fluxos reais de tráfego em Los Angeles é o LA-4. Após esse ciclo foram desenvolvidos outros como o Federal Urban Driving Schedule (FUDS). O FUDS é um ciclo que dura cerca de 1500 segundos, em que para cada segundo é definida uma diferente velocidade. Existe também uma versão simplificada de SFUDS (Simplified FUDS) que dura apenas 360 segundos. É importante frisar que tais ciclos simulam velocidade máxima, frenagens e outros comportamentos normais durante o uso de um veículo. Existem também ciclos de simulação de condução fora de cidades e ou condução em estrada. Apesar de amplamente utilizado, este ciclo tem uma velocidade máxima pouco realista para a condução em estrada, e o novo padrão US06 agora está se tornando mais amplamente usado. (LARMINE, 2003).

Na cena europeia os ciclos tendem a ser bastante simples com períodos de aceleração e velocidade constante. Um com particular interesse é o ECE 15 (*Urban Driving Cycles*) o qual é útil para testar o desempenho de veículos de pequeno porte, tais como carros elétricos com bateria. Em testes de emissão na europa isso tem que ser combinado os ciclos de condução extra-urbano (EUDC, *Extra-urban driving cycles*), que adotam uma velocidade máxima de 120 km/h.

Atualmente, o padrão mais amplamente usado na Ásia é o japonês ciclo Modo 10-15. Como os ciclos Europeus, esses envolvem períodos de velocidade constante e aceleração. Ele não é diferente de uma combinação do 15 ECE com o ciclo de condução extra urbana europeia o (EUDC). No Japão esses padrões têm velocidades máximas na região de 100 km/h para diversos tipos de veículos elétricos, incluindo o veículo de entrega elétrico e a scooter com motor elétrico, mas não é uma velocidade real pois muitas vezes não pode ser atingido, em alguns casos é necessário ensaiar esses veículos em outros ciclos.

Um padrão bastante antigo, que foi desenvolvido especificamente para veículos elétricos na década de 1970, é o J227a cronograma de condução SAE. Tem quatro versões, com diferentes velocidades. Cada ciclo é bastante curta no tempo, e consiste de uma fase de aceleração, uma fase de velocidade constante, numa fase acostamento e uma travagem de

fase, seguido por um tempo fixo. A fase de acostamento, onde a velocidade não é especificada, mas o esforço de tração é zero, é um pouco de um incômodo para modelo. O perfil geral de é mostrado na Figura 37, e os detalhes de cada uma das quatro variantes neste ciclo são apresentados na tabela 12.

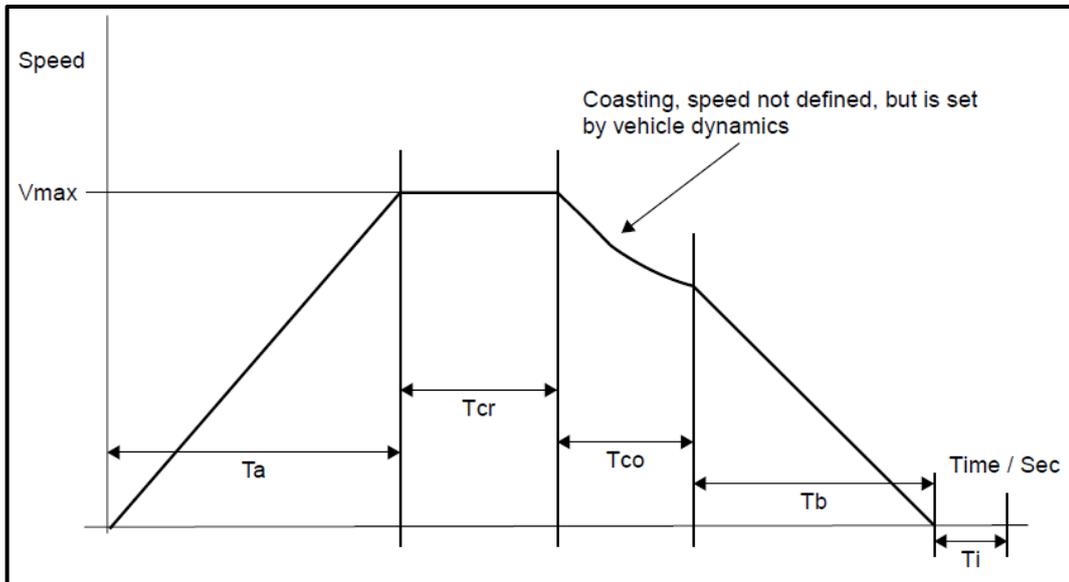


Figura 37 - Ciclo de condução SAE J227a

Fonte: Larmin, 2003.

O ciclo mais utilizada é SAE J227a -C, que é particularmente adequado para veículos urbanos de pequeno porte como scooters elétricos e outros veículos elétricos. O ciclos A e B são por normalmente usados para veículos de entrega para fins especiais. Outro programa digno de nota para veículos de baixa velocidade é o Europeu ECE- 47 que é utilizado para o teste de emissões de ciclomotores e motocicletas com capacidade inferior a 50 cm³, mas também é amplamente utilizado para a faixa de simulação de eléctrico scooters. O ciclo SAEJ227a pode ser um pouco complicado para executar a simulação, pelo fato da velocidade não ser especificada em todos os momentos. (LARMINE, 2003)

Tabela 12 – Tempos do SAE J227a

PARÂMETRO	UNIDADE	CICLO A	CICLO B	CICLO C	CICLO D
Vel. Máxima	Km/h	16	32	48	72
T. de	S	4	19	18	28
Aceleração					
(Ta)					
T. Cruzeiro	S	0	19	20	50
(Tc)r					
T.	S	2	4	8	10
Acostamento					
(Tco)					
T. de	S	3	5	9	9
Frenagem					
(Tb)					
T. Ocioso	S	30	25	25	25
(Ti)					
T. Total	S	39	72	80	122

Fonte: Larmine, 2003

Há muitos outros ciclos de ensaios que podem ser encontrados na literatura e algumas empresas têm a sua própria metodologia de condução. Acadêmicos, às vezes, propõem mudanças na tentativa de replicar uma condução real. Há ciclos locais, que refletem os padrões de uma cidade específica e que reproduz as suas condições singulares. Um exemplo digno de nota é Ciclo de Nova Iorque, que tem particularmente longos períodos de ausência de movimento e acesso a velocidades médias, refletindo o estado de suas vias. Esse ciclo é por vezes usado quando são simulados veículos elétricos/híbridos, com motor de combustão interna (ICE - *Internal Combustion Engine*). Entretanto, no caso dos ciclos americanos, os quais consistem de uma velocidade específica de cada vez, é mais conveniente para usar dados de arquivos baixados de sites da web. Estes podem ser facilmente encontrados na internet através de sites de busca. (Larmine, 2003)

6.3.1 Coleta de Dados

O ensaio foi executado na plataforma utilizando o Ciclo SAE J227a C e D. Apesar de haverem quatro diferentes ciclos, optou-se pelos dois últimos pelo fato de terem períodos de aceleração e desaceleração mais longos, ou seja, mais coerentes com um regime de direção usual de um veículo urbano. Além disso, adotou-se uma rotina para a execução do ensaio de modo a melhorar a confiabilidade e garantir repetibilidade do processo. O fluxo da rotina de ensaio é apresentado na figura 38.

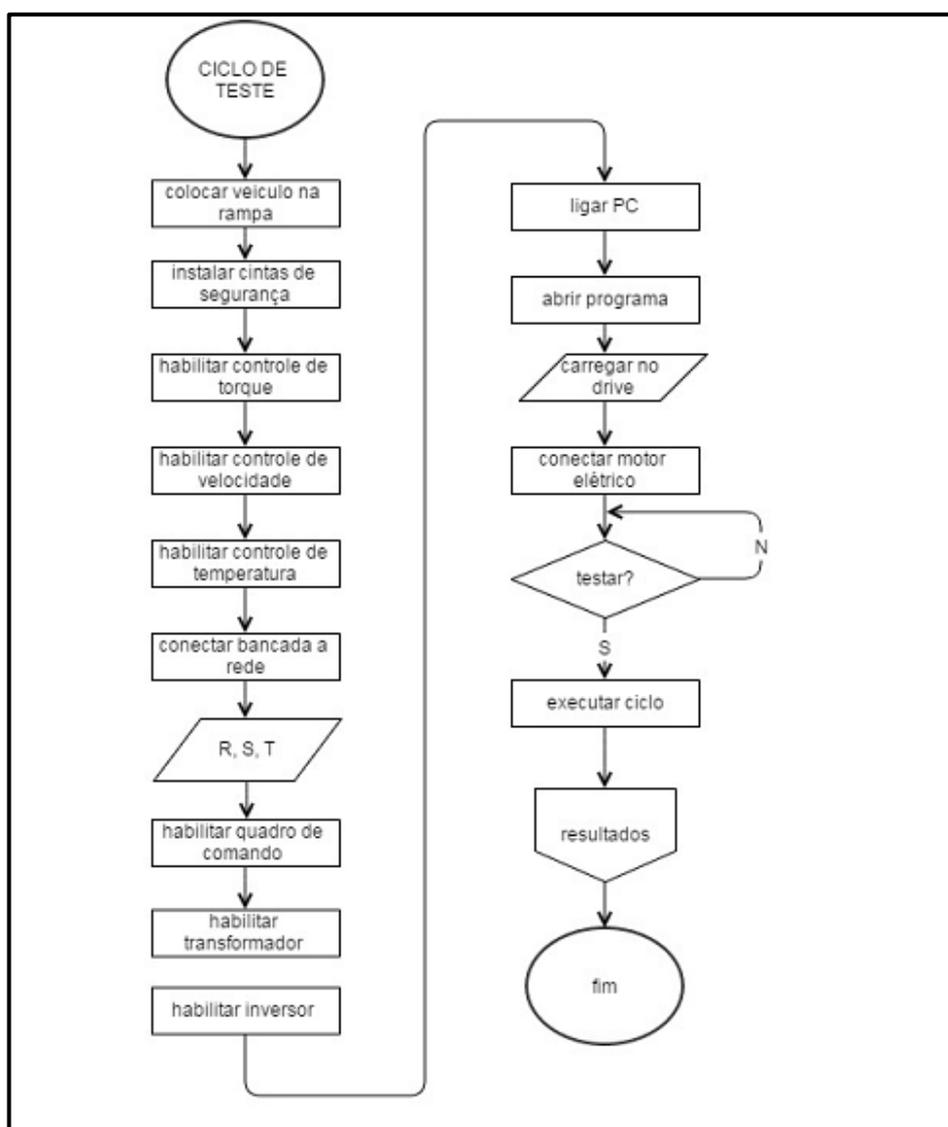


Figura 38 - Fluxograma da rotina de ensaios

Fonte: O autor, 2013

Para a realização do ensaio, algumas premissas tiveram de ser definidas como que,, a aplicação do veículo seria doméstica, para uso em centro urbano, os trajetos aleatórios, uma velocidade máxima em torno de 70 Km/h e a lotação de pelo menos dois passageiros.

Para reproduzir o perfil de velocidades recomendado nos Ciclos SAE J227a, cada ensaio aconteceu três vezes, observando os detalhes recomendados e as condições de contorno que a Plataforma poderia oferecer. Para garantir maior precisão nos tempos determinados no Ciclo todo o processo foi feito usando funcionalidades do CFW 11, por meio de programação. O Tempo de Acostamento do Ciclo, (Tco) não apresenta qual velocidade deverá ser seguida e, por isso, optou-se por somar o tempo de acostamento com o tempo de frenagem numa única rampa de desaceleração.

Foram acompanhados por meio do programa Super Drive G2 os parâmetros de:

- Velocidade do Motor (rpm);
- Corrente do Motor (ampéres);
- Tensão de Saída (volts);
- Torque do Motor (percentual);
- Contador de Consumo (Kwh); e
- Potência de Saída (Kw).

6.3.2 Ensaio do Veículo, Ciclo SAE J227a-C:

Neste ensaio foram usados os parâmetros do Ciclo SAE J227a-C, obedecendo os limites de velocidade máxima e respectivos tempos conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros do Ciclo

PARÂMETROS	Valores
Velocidade Máxima	48 Km/h
T. de Aceleração (Ta)	18 s
T. Cruzeiro (Tc)r	20 s
T. Acostamento (Tco)	8 s
T. de Frenagem (Tb)	9 s
T. Ocioso (Ti)	25 s
T. Total	80 s

Fonte: Larminie, 2003

A figura 39 reúne todos os parâmetros observados através do *software* do inversor durante este ensaio no motor elétrico. São eles rotação, corrente, tensão, torque e energia consumida.

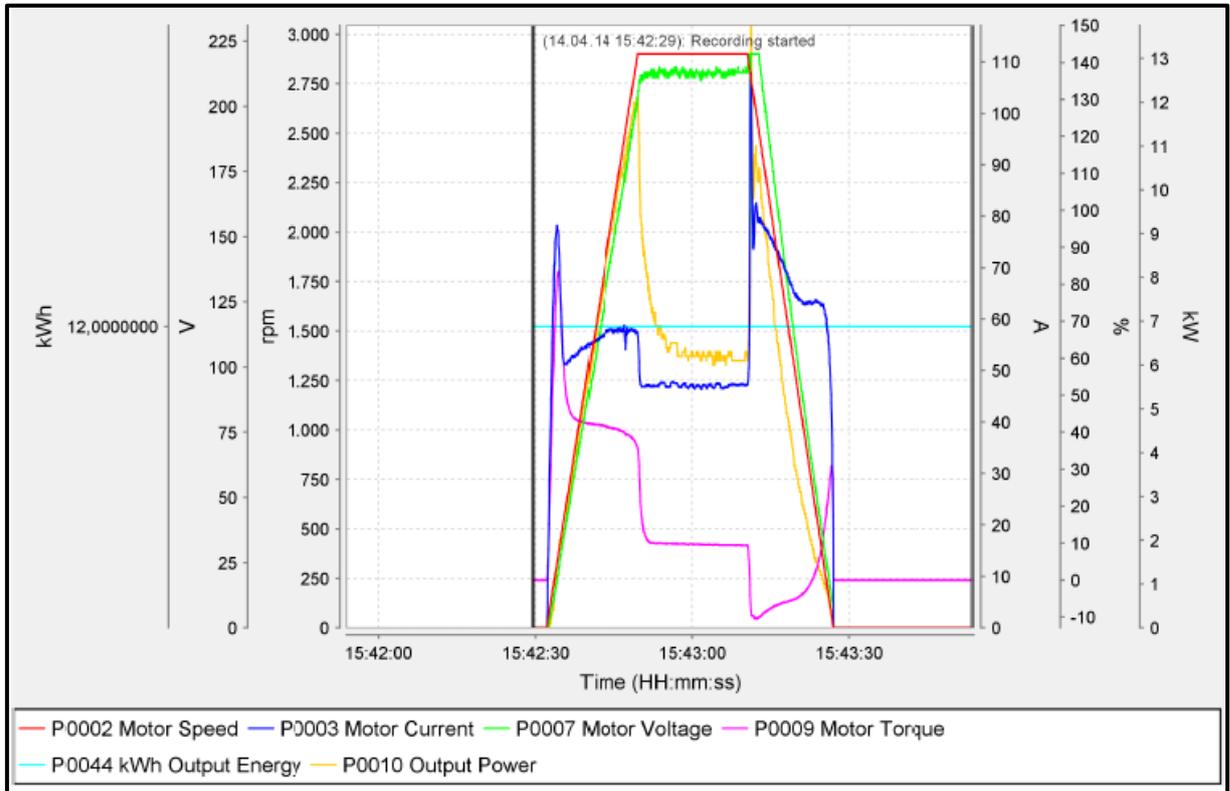


Figura 39 - Ciclo C SAE j227a - todos os parâmetros

Fonte: Super Drive G2

A figura 40 destaca o comportamento do torque no motor elétrico e sua respectiva rotação. Durante a partida do motor o torque (linha rosa) atinge pouco mais que 80% da sua capacidade, em seguida tem uma queda em forma de degrau até estabilizar abaixo de 20%. No instante da desaceleração do motor elétrico ele tem um pico negativo em alguns segundos um pico negativo e um rápido pico positivo caindo para o valor nulo.

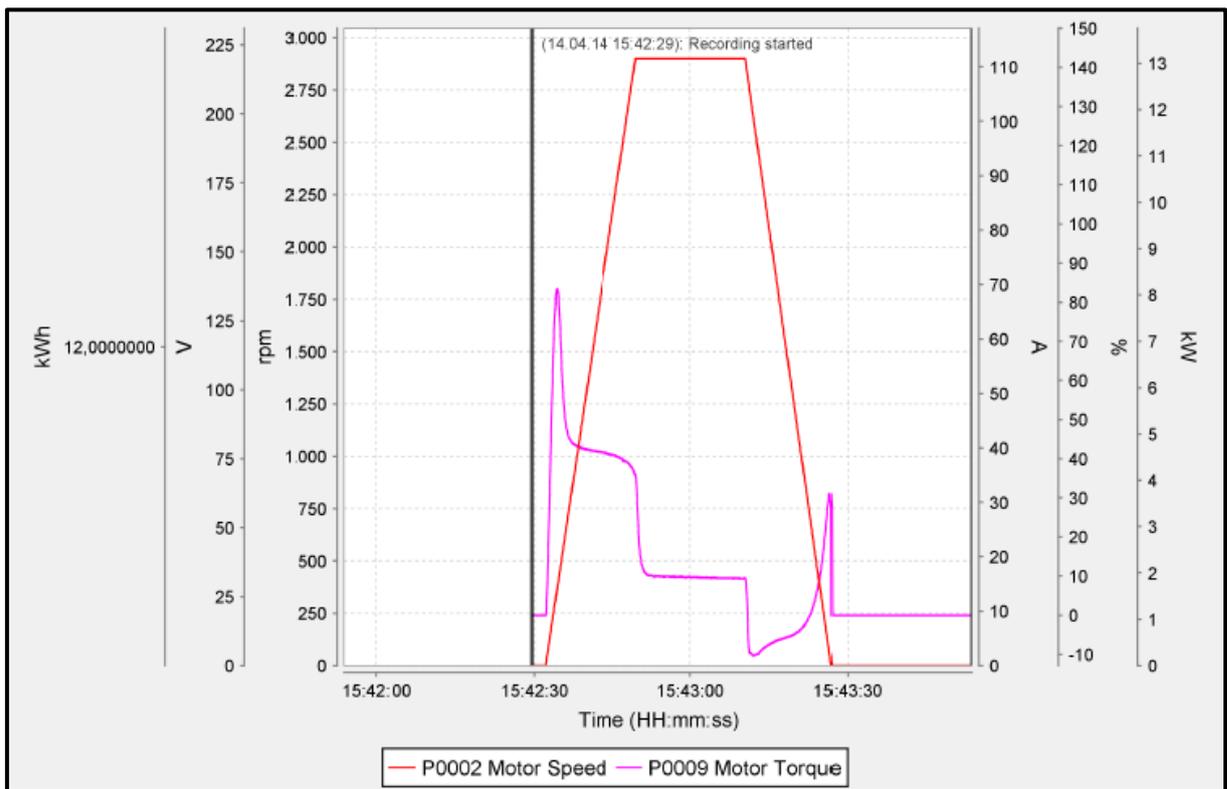


Figura 40 - Ciclo C SAE J227a – Velocidade e Torque no Motor

Fonte: Super Drive G2

A figura 41 demonstra o comportamento da tensão e da corrente elétrica durante o ensaio. A curva de corrente (linha vermelha) tem um rápido pico de aproximadamente 70 A durante a partida do motor com oscilações em queda até o segundo 22 do ensaio quando a corrente se estabiliza próximo de 50 A. No instante em que o motor começa a desacelerar acontece outro rápido pico, dessa vez de 100 A quando ele inicia uma queda que em aproximadamente 15 segundos atinge o valor nulo. A tensão tem um comportamento aproximadamente linear entre a partida e o regime estacionário, destaque para dois rápidos

picos, um descendente seguido de uma ascendente no segundo 45 do ensaio, instante em que o motor inicia a desaceleração.

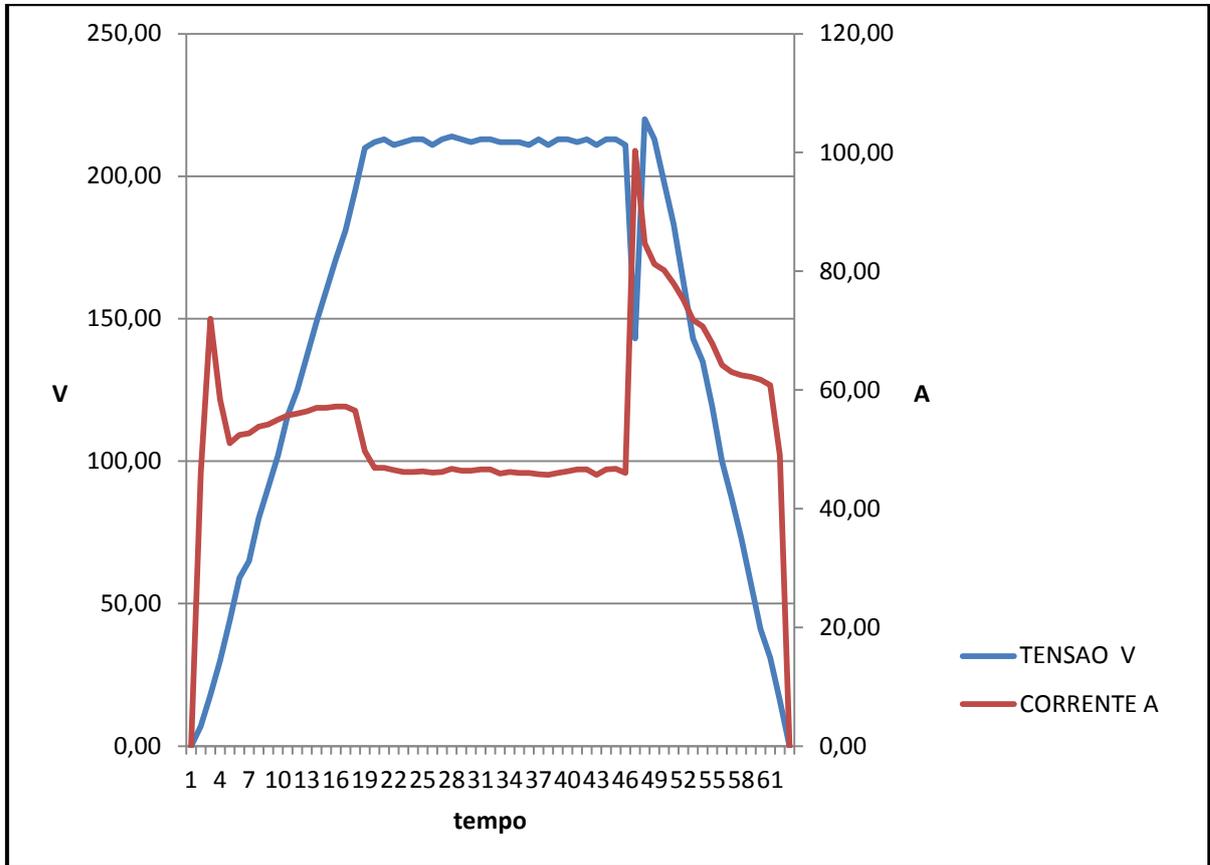


Figura 41 - Ciclo C SAE J227a – Tensão e Corrente no Motor

Fonte: O autor, 2013.

A figura 42 demonstra a potência elétrica no motor a cada segundo, sendo que o valor é resultado do produto da tensão pela corrente elétrica durante o ensaio. Destaque para o instante (segundo 45 do ensaio) em que o motor começa a desacelera e há uma elevação dos valores de tensão e de corrente.

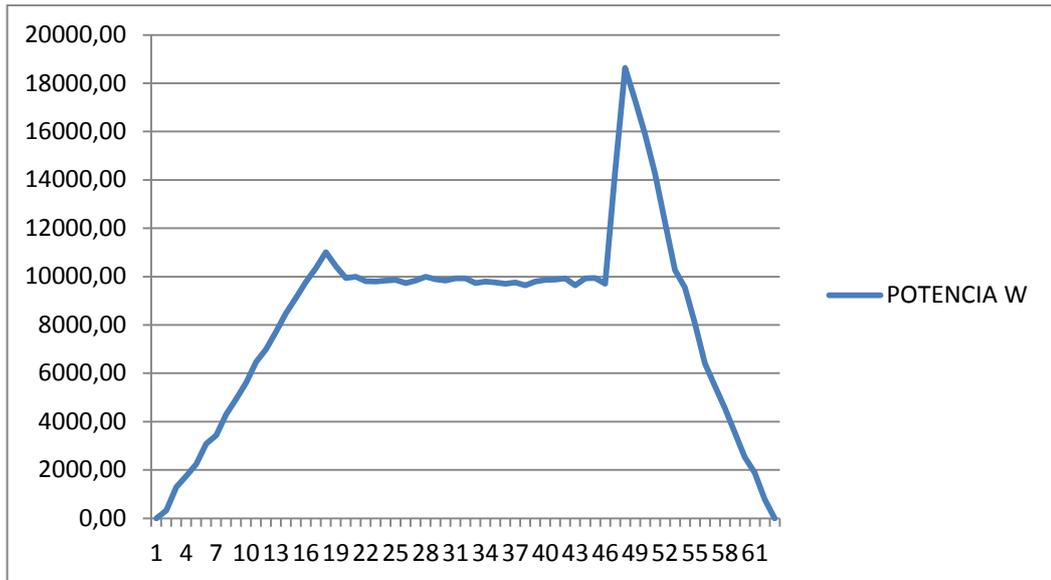


Figura 42 - Ciclo C SAE J227a - Potência de saída no Motor

Fonte: O autor, 2013.

Já a figura 43 demonstra a potência elétrica consumida a cada segundo, bem como demonstra a integração dos valores a cada segundo no ciclo de ensaio.

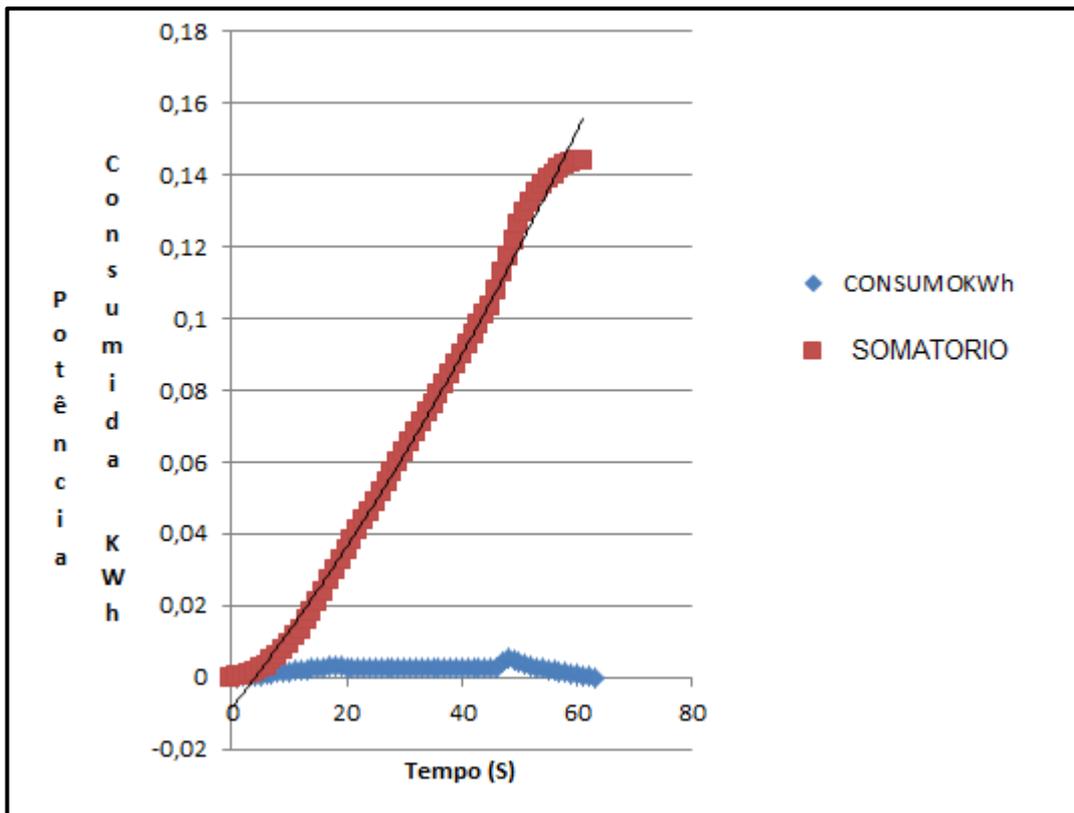


Figura 43 - Ciclo C SAE J227a – Potência consumida no Motor em Kwh

Fonte: O autor, 2013.

Na tabela 14 estão dispostos os valores obtidos durante o ciclo de ensaio com informações do programa disponível no inversor, do monitoramento da temperatura do motor elétrico e das informações da instrumentação do dinamômetro.

Tabela 14 - Dados obtidos no Ciclo C

Dados	Unidade	Mínimo	Média em Regime	Máximo
Velocidade do Motor	RPM	0	2900	2.900
Corrente do Motor	Ampere	0	46	105,07
Tensão no Motor	Volt	0	213	231
Torque no Motor	(%)	-12,85	8,5	80,9
Potência de Saída	Kw	0	10	18
Potência na Roda	Nm	0	125	140
Temp Mancal Diant	°C	23	54	75
Temp Estator	°C	23	31	56
Temp Mancal Tras	°C	23	31	48

Fonte: O autor, 2013.

Neste ciclo a velocidade máxima solicitada foi de 48 km/h, o que permitiu utilizar a terceira marcha. As leituras demonstraram o bom desempenho do equipamento sem que as variáveis observadas tivessem comportamento acima dos limites recomendados pelo fabricante.

A potência elétrica total consumida durante o ensaio foi de 0,144 KWh para um intervalo de pouco mais que um minuto e a distância percorrida foi de aproximadamente 528 metros. Levando em conta as velocidades praticadas em ambientes urbanos, em torno de 60 km/h, este ensaio demonstra ser importante avaliar o conjunto fazendo uso das demais marchas da caixa de câmbio, a serem demonstrados no item 6.3.3.

6.3.3 Ensaio do Veículo, CICLO SAE J227a-D

Neste ensaio foram usados os parâmetros do Ciclo SAE J227a-D, obedecendo os limites de velocidade máxima e respectivos tempos conforme a tabela 15.

Tabela 15 - Parâmetros do Ciclo

PARÂMETROS	Valores
Velocidade Máxima	72 Km/h
T. de Aceleração (Ta)	28 s
T. Cruzeiro (Tc)r	50 s
T. Acostamento (Tco)	10 s
T. de Frenagem (Tb)	9 s
T. Ocioso (Ti)	25 s
T. Total	122 s

Fonte: Larminie, 2003

A figura 44 reúne todos os parâmetros observados através do programa do inversor durante o ensaio no motor elétrico. São eles rotação, corrente, tensão, torque e energia consumida.

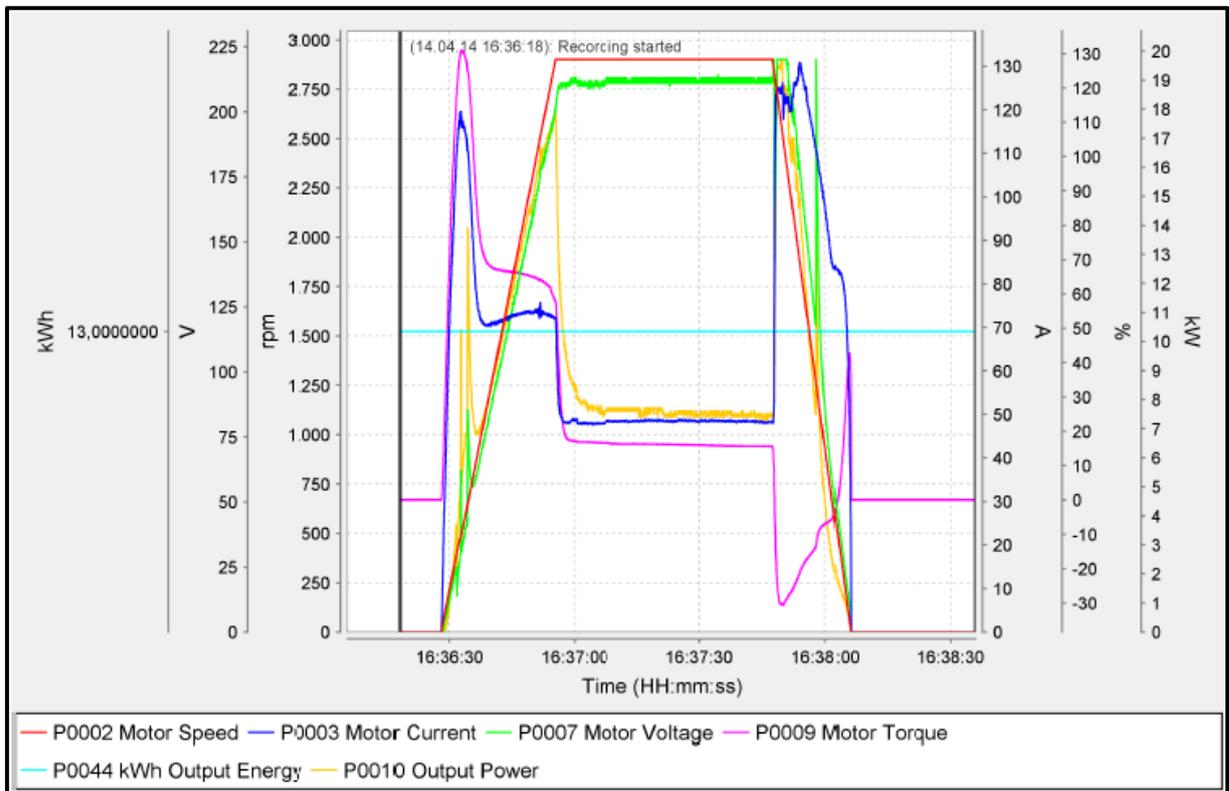


Figura 44 - Ciclo D SAE J227a – Todos os parâmetros

Fonte: Super Drive G2

A figura 45 apresenta as curvas de torque e rotação do motor elétrico durante o ensaio utilizando o Ciclo SAE J227a-D. Ela é um recorte da figura 44 e demonstra o comportamento do torque (linha rosa) e da rotação (linha vermelha). Pode-se perceber no instante da partida do motor que o torque é bem elevado, a medida que a velocidade aumenta o torque decai para um valor baixo, em seguida tem um pico negativo num intervalo pequeno seguido de um pico positivo. O pico negativo se explica pelo fato da velocidade da carga (veículo) ser maior que o campo girante no instante em que o motor começa a desacelerar.

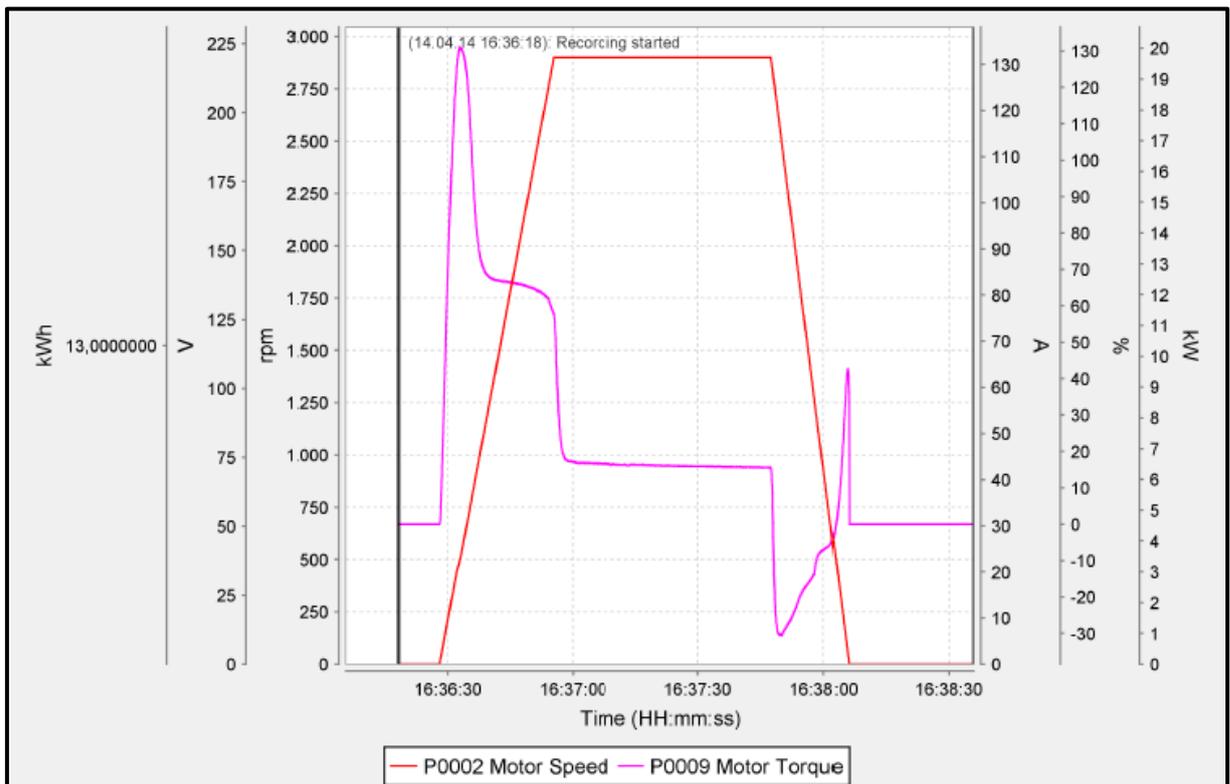


Figura 45 - Ciclo D SAE J227a – Velocidade e Torque no Motor

Fonte: Super Drive G2

A figura 46 demonstra o comportamento da tensão e da corrente elétrica durante o ensaio. As duas curvas, corrente, A (vermelho) e tensão, V (azul) tem comportamentos distintos durante o ensaio. A corrente no momento da partida tem crescimento rápido nos primeiros 5 segundos, em seguida tem dois degraus de queda até manter sua estabilidade abaixo da corrente nominal do motor, 84 A. Volta a subir no instante em que o motor começa a desacelerar e tem uma queda aproximadamente linear nos últimos 10s de funcionamento do

motor. A tensão tem um crescimento aproximadamente linear no momento da partida até atingir o estado estacionário. No instante em que o motor começa a desacelerar ele tem uma pequena elevação seguida de queda até a velocidade nula. Cabe destacar que a amplitude da tensão manteve-se por todo o ensaio dentro do limite de amplitude, o que é garantido pelo inversor de frequência.

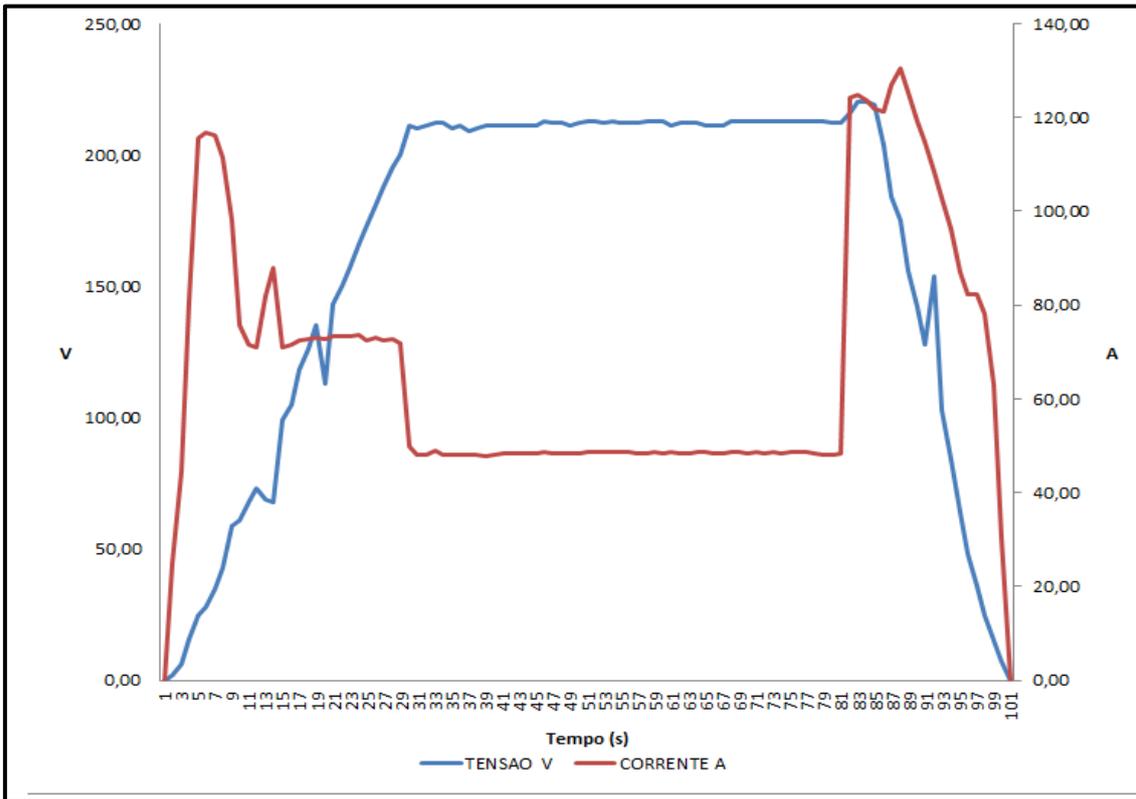


Figura 46 - - Ciclo D SAE J227a – Tensão e Corrente no Motor

Fonte: O autor, 2013.

A figura 47 apresenta os valores, a cada segundo, da potência elétrica consumida que é resultado do produto a cada segundo dos valores de tensão e corrente. Destaque para o instante em que o motor começa a desacelera e há uma elevação dos valores de tensão e de corrente.

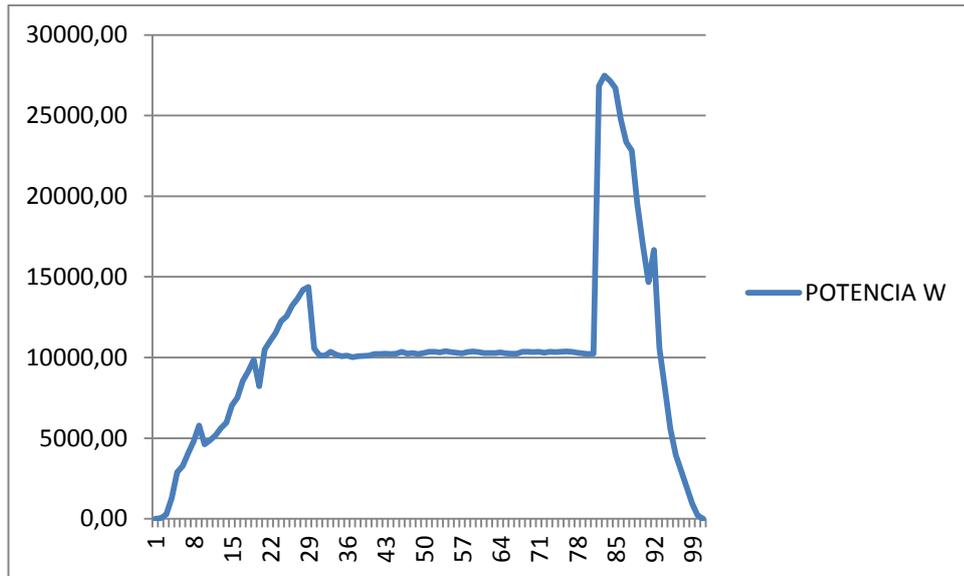


Figura 47 - Ciclo D SAE J227a – Potência de saída no Motor

Na figura 48 são apresentadas as curvas de potência elétrica instantânea a cada segundo e o somatório destes valores. A curva vermelha é a integral do consumo.

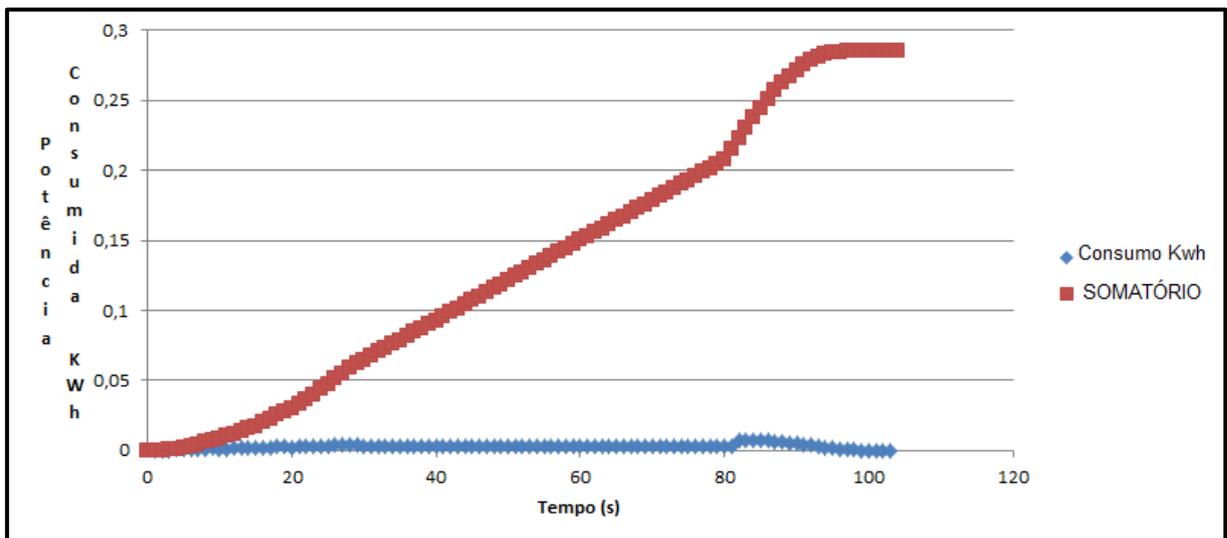


Figura 48 - Ciclo D SAE J227a – Potência consumida no Motor

Na tabela 16 estão dispostos os valores obtidos durante o ensaio através do Ciclo SAE J227a-D com informações do programa do inversor, do monitoramento da temperatura do motor elétrico e das informações da instrumentação do dinamômetro.

Tabela 16 - Dados obtidos no Ciclo D

Dados	Unidade	Mínimo	Média em Regime	Máximo
Velocidade do Motor	RPM	0	2900	2900
Corrente do Motor	Amper	0	48,6	130
Tensão no Motor	Volts	0	212	220
Torque no Motor	(%)	-30	16,3	130
Potência de Saída	Kw	0	7,5	19,7
Potência na Roda	Nm	0	130	157
Temp Mancal Diant	°C	31	54	85
Temp Estator	°C	30	45	66
Temp Mancal Tras	°C	30	35	43

Fonte: O autor, 2013.

Neste ciclo a velocidade máxima solicitada foi de 72 km/h, o que permitiu usar a quinta marcha. As leituras demonstraram o bom desempenho do equipamento com a ocorrência de uma pico de corrente de aproximadamente 130 amperes, mas dentro com uma duração aceitável de acordo com os limites definidos pelo fabricante.

Para avaliação do comportamento das variáveis observadas é importante destacar três momentos distintos nos ensaios: a rampa de aceleração, o funcionamento em estado estacionário e a rampa de desaceleração.

Durante a rampa de aceleração que foi de um instante t_0 até a velocidade máxima que o ciclo determina, picos de corrente e torque tiveram destaque, o que chama a atenção para experimentar outras funcionalidades do inversor de frequência de modo a atenuar estas curvas que irão refletir em mais autonomia de energia, uma vez que a proposta inicial da conversão é que o veículo tenha aplicação urbana o que certamente implica em várias paradas e saídas em um curto espaço de tempo e também mais conforto na condução do veículo.

Durante o funcionamento em estado estacionário, com velocidade máxima constante, todo o conjunto tem um comportamento muito satisfatório com destaque para o rápido aumento de temperatura na parte do mancal motriz do motor elétrico, lembrando que o motor tem 9 sensores pt 100, sendo três junto ao mancal motriz, três junto ao estator e três juntos ao mancal traseiro. Por razões diversas, neste trabalho não será possível finalizar todo o sistema de arrefecimento, foi feito apenas um monitoramento da temperatura do motor através de seus

sensores o que não comprometeu o funcionamento do motor, pois os ciclos de ensaio foram em torno de 2 minutos cada.

Já no funcionamento em rampa de desaceleração, o inversor que havia sido programado para garantir que o motor saísse de uma velocidade máxima para a velocidade nula, houve detecção de picos de corrente e torque acompanhados de picos de tensão próximos aos valores do funcionamento em estado estacionário, neste instante o torque passa a ser negativo, o que significa que a máquina elétrica deixou de ser um motor e passou a ser um gerador. O inversor permite implementar a frenagem regenerativa de modo a melhorar a autonomia do sistema. O mesmo comportamento foi observado no ciclo SAE J227a-C, mostrado no item 6.3.2.

O consumo de potência durante o ensaio no ciclo D foi de 0,285 KWh e a distância percorrida foi de aproximadamente 1586 metros o que demonstra que para percorrer 50 km seriam necessários aproximadamente 9 Kwh. De acordo com Borba (2008), os veículos no Brasil rodam diariamente, em média, entre 25 e 50 km, assim as informações até aqui obtidas na plataforma seriam úteis para se propor o uso de um banco de baterias (com ou sem o auxílio de um super capacitor), contabilizar o uso da frenagem regenerativa, de um sistema de ar condicionado e de outros sistemas acessórios.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1 CONCLUSÕES

Os primeiros ensaios da plataforma objetivaram avaliar a funcionalidade da estrutura sem aprofundamento em detalhes específicos relativos à conversão, à programação, ao comportamento dinâmico do motor, do veículo ou do dinamômetro. Entretanto cabem tecer alguns comentários sobre o motor, o inversor, o comportamento térmico do motor e o torque no motor elétrico baseado nos ensaios realizados.

O motor refrigerado a água, um protótipo do fabricante, que no caso aproveitou o sistema de arrefecimento original do veículo, se mostrou confiável e eficiente, ou seja, este tipo de motor parece ser bastante adequado aos veículos elétricos, se comparados com outros sem esse tipo de refrigeração.

O monitoramento da temperatura é feito através dos 09 sensores tipo PT-100 distribuídos, entre mancal dianteiro, mancal traseiro e enrolamento. Nos ensaios realizados, pôde-se observar uma elevação de temperatura rápida nas três partes monitoradas com nítida diferença no mancal dianteiro, que é o mancal motriz. Isto indica a necessidade de um aprofundamento maior para compreender suas causas e implementar melhoras ao conjunto.

Os ensaios com os ciclos SAE J227a para veículos elétricos permitiram obter dados mais qualitativos da operação do veículo convertido.

Os resultados do ensaio do ciclo J226a D mostra que o consumo de energia foi de 0,285 KWh para uma distância percorrida de aproximadamente 1586 metros. Para percorrer 50 km seriam necessários aproximadamente 9 Kwh. A comparação deste consumo com modelos similares já convertidos demonstra que há espaço para aperfeiçoamento.

O inversor usado é bastante robusto e tem uma grande variedade de funcionalidades. Explorar mais profundamente as potencialidades de programação abre a perspectiva de melhorar os resultados. Outra possibilidade é o uso de frenagem regenerativa, isto pode ser observado na variação da corrente no instante em que a velocidade do motor sai do regime estacionário e o torque passa a ser negativo, indicando que a velocidade da carga é maior que a do rotor. Neste instante há escorregamento negativo significando que o rotor da máquina gira na mesma direção do campo magnético girante do estator, mas com uma velocidade superior. Este é o momento em que a máquina elétrica passa a ser um gerador e pode-se

aproveitar a frenagem regenerativa através do barramento DC do inversor. O aproveitamento da energia de frenagem regenerativa pode aumentar a autonomia do veículo elétrico.

Existem grandes desafios a serem vencidos na direção de se disseminar a informações sobre mobilidade elétrica, mas também existem oportunidades para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico.

A plataforma se insere num ambiente altamente propício, pois serve para avaliar desempenho e consumo de energia em veículos elétricos sob diversos aspectos. Essa funcionalidade terá papel fundamental na formação de estudantes de engenharia e no desenvolvimento de projetos acadêmicos para mobilidade elétrica.

A proposta da plataforma como um instrumento de avaliação e desenvolvimento, não pretende determinar o caminho definitivo para a solução de todos os problemas hoje existentes, mas propõe contribuir com desenvolvimento de alternativas para o futuro.

7.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Várias são as sugestões que poderão ser seguidas no intuito de aproveitar todas as possibilidades que a plataforma oferece.

A partir das informações levantadas nos ensaios pode-se dimensionar e instalar um banco de baterias no veículo com avaliação das diversas tecnologias de baterias como chumbo ácido, chumbo carbono, sódio, ions de lítio, bipolares e até mesmo, a implementação de outro sistema de transmissão.

Junto à plataforma é possível desenvolver uma bateria virtual por meio de ferramentas computacionais de modo a permitir a simulação da tecnologia, as dimensões e a potência dos acumuladores a serem usados no veículo convertido. Além disso, pode-se escolher o ciclo de ensaio a ser adotado.

Pode-se ainda, projetar um sistema de arrefecimento adequado às necessidades do motor refrigerado a água, com possíveis reduções de peso e diminuição do arrasto aerodinâmico através do redimensionamento da entrada de ventilação frontal e do projeto de um novo radiador.

O inversor de frequência tem diversas funcionalidades que podem ser exploradas na plataforma. Por exemplo, o aproveitamento da frenagem regenerativa e a escolha de outras ferramentas de programação já disponíveis no equipamento, as quais poderão ser aplicadas tanto no veículo convertido neste trabalho, quanto em outros projetos.

É possível desenvolver toda uma estrutura de gerenciamento, coleta, tratamento, armazenamento e análise dos dados oriundos do dinamômetro.

Pode-se desenvolver um novo ciclo de ensaios para ser usado na plataforma que leve em conta questões específicas da região de Brasília em diferentes regimes de uso.

BIBLIOGRAFIA

BASOTTI, M. R. *Eletricidade; instalações industriais*. Sapucaia do Sul: Centro de Educação Profissional SENAI de Eletromecânica, 2001.

BNDES, Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades, Bernardo Hauch Ribeiro de Castro e Tiago Toledo Ferreira Data: 09/2010

BORBA, B. S. M. C., 2008. Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil. Tese de M.Sc., PPE/COPPE/UFRJ. Brasil.

BOTTURA, C. P.; BARRETO, G. *Veículos Elétricos*. Campinas: UNICAMP, 1989.

CARNEIRO, F. S. P. Projeto e desenvolvimento de um sistema de controle eletrônico de injeção direta GNV em veículos movidos à gasolina/álcool. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2011.

CHAN, C. C.; BOUSCAYROL, A.; CHEN, K. Electric, hybrid, and fuel-cell vehicles: architectures and modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 59, n. 2, p. 589-598, feb. 2010.

CHAN, C. C.; CHAU, K. T. An overview of power electronics in electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 44, n. 1, p. 3-13, feb. 1997.

CORREIA, A. P. *Processador embarcado em lógica reconfigurável para o controle de movimentação de veículo de passeio*. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2007.

COSTA, W. *Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica...* Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UERJ, 2009.

DE PAULA, G. T. *Análise e projeto de máquinas síncronas com ímã permanente*. Dissertação de Mestrado. São Carlos: EESC, 2011.

DYNOMite Dynamometer. Disponível em: <http://www.land-and-sea.com/dyno-max-data-acquisition-software/dyno-max.htm> Acesso em: 10/02/2014

EHSANI, M.; RAHMAN, K. M.; TOLYIAT, H. A. Propulsion system design of electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 44, n. 1, feb. 1997.

EMADI, A.; LEE, Y. J.; RAJASHEKARA, K. Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 55, Issue 6, p. 2237-2245, jun. 2008.

FITZGERALD, A.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. *Electric machinery*. New York: MacGrawHill, 1991.

Finep 2013. Disponível em: http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=3135, acesso em 18/05/2014.

Fraunhofer IWES. Disponível em: <<http://www.iwes.fraunhofer.de/de/profil.html>> Acesso em: 20/02/2014.

GUEDES, M. V. *Máquinas elétricas – Resenha Histórica*. Cidade do Porto: Universidade do Porto, 2003.

H. Ben Brown, Illah Nourbakhsh, Chris Bartley, Jennifer Cross, Paul Dille, Josh Schapiro, Alex Styler; Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania 15213 - ChargeCar Community Conversions: Practical, Electric Commuter Vehicles Now!

HAICAL, R. C. *Desenvolvimento de um sistema de controle de dinamômetros para testes em motores de combustão interna*. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: UFRS, 2009.

<http://autocenter.blog.br/wp-content/uploads/2013/10/tracao-na-dianteira.jpg>> acesso em 16/02.2015

<http://autocenter.blog.br/wp-content/uploads/2013/10/tracao-na-dianteira.jpg> > acesso em 16/02.2015

http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/sistema%20de%20arrefecimento.pdf > acesso em 16/02.2015

<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>. >. Acesso em: 1 mai. 2013.

INVERSOR de Frequência. WEG, [200-]. Disponível em:

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw11t-inversor-de-frequencia-para-controle-de>

[motores-aplicados-em-veiculos-eletricos-10002020360-manual-portugues-br.pdf](#)>. Acesso em: 1 mai. 2013.

James Larminie and John Lowry

KIEHNE, H. A. *Battery technology handbook*. 2. ed. [S.l.]: Marcel Dekker, 2003.

LARMINE, J., Lowry, J., *Electric Vehicle Technology Explained*, John Wiley & Sons, Ltd, England, 2003.

LINEN, D.; THOMAS, R. *The handbook of batteries*. 3. ed. New York: MacGrawHill, 2004.

Mecatrônica Atual, <http://www.mecatronicaatual.com.br/artigos/1213-os-inversores-de-frequecia> , acessado em 12 dez 2013.

MOHAN, N.; UNDELAND, T. M; ROBBINS, W. P. Robbins. *Power electronics: converters, applications, and design*. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2002.

NICOLAZZI, L.C., Rosa, E. da, Leal, L.C.M. *Introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas*. Brasil: Publicação interna do GRANTE - Depto de Engenharia Mecânica da UFSC. 2001.

PEREIRA, J. C. Dinamômetros hidráulicos. *Perfectum*, 4 abr. 1999. Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/energia/dinos1.html>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

PERES, L. A. P; HORTA, L. A. N.; LAMBERT-TORRES, G. Influências sobre os sistemas de energia com a introdução dos veículos elétricos na sociedade. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO GERAÇÃO TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 3. 1997, Campos do Jordão, SP. *Anais...* Campos do Jordão, SP, 1997.

PORTAL FATOR BRASIL, http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=56441 acesso em 12 dez. 2013.

Quim, Nelson - *Desenvolvimento de uma Metodologia Aplicada ao Sistema de Arrefecimento Veicular*. Dissertação de Mestrado- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2007

RENAULT 19 CLUB. Sistema de arrefecimento (figura). **r19club**, [200-]. Disponível em: <<http://r19club.com/arrefecimento-do-motor/limpeza-do-radiador/>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

SHERIF, S. Gindy; Force and Torque Measurement, A Technology Overview Part II – Torque. Volume 9, Experimental Techniques, Julho 1985.

TOLIYAT, H. A.; KLIMAN, G. B. *Handbook of electric motors*. 2. ed. [S.l.: s.n.], 2004.

Velloso, J. P. R. (Coord.). (2010). Estratégia de implantação do carro elétrico no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Altos Estudos (INAE), Cadernos Fórum Nacional 10.

VIANA, J. C. O. *Plataforma de testes de desempenho veicular para dinamômetros inerciais em linguagem LAB VIEW*. Santo André, SP: Faculdade de Tecnologia de Santo André, 2011.

□ 2003 ISBN: 0-470-85163-5

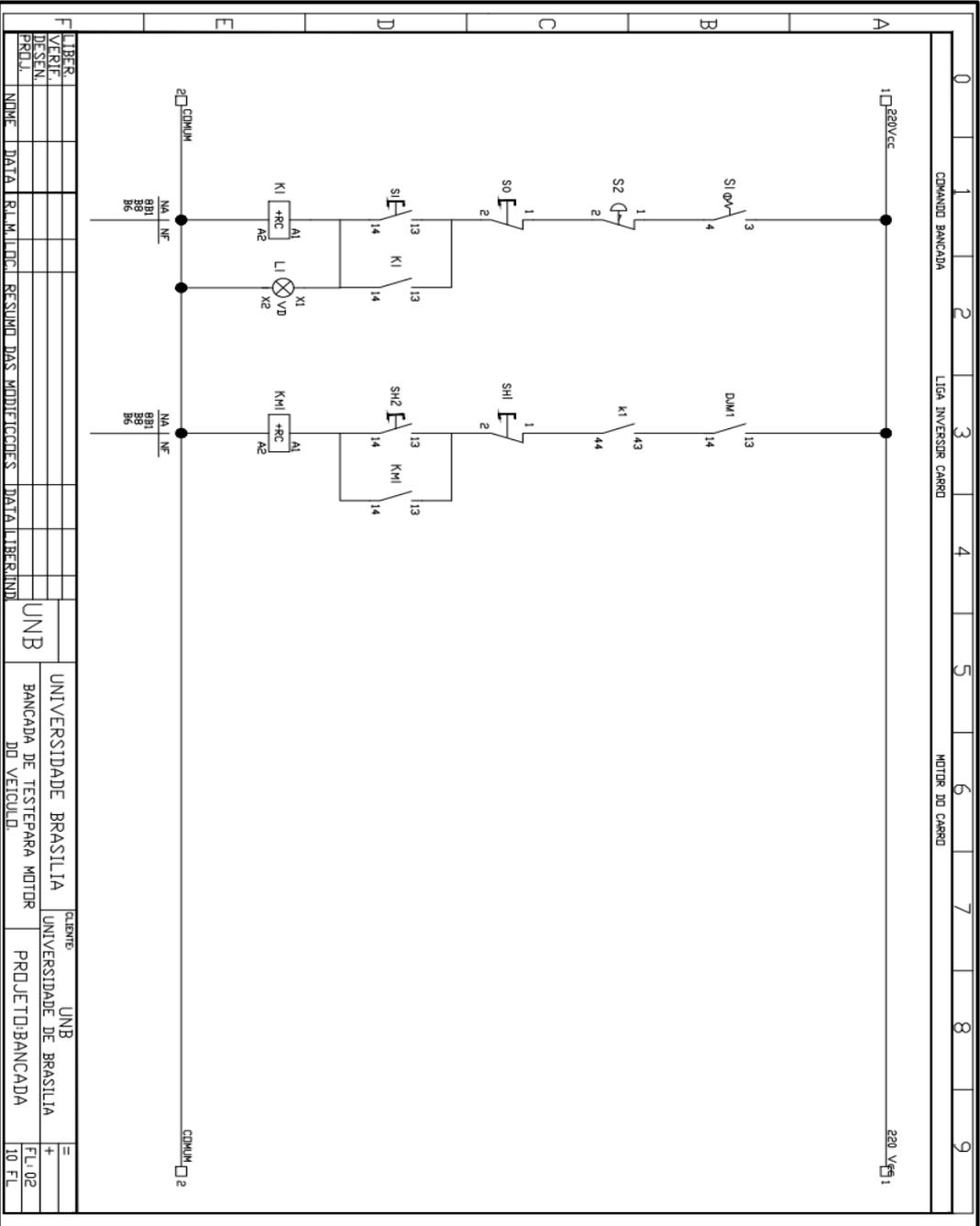
WEG.NET. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Softwares/SuperDrive-G2-Software-de-Parametrizacao-de-Drives>

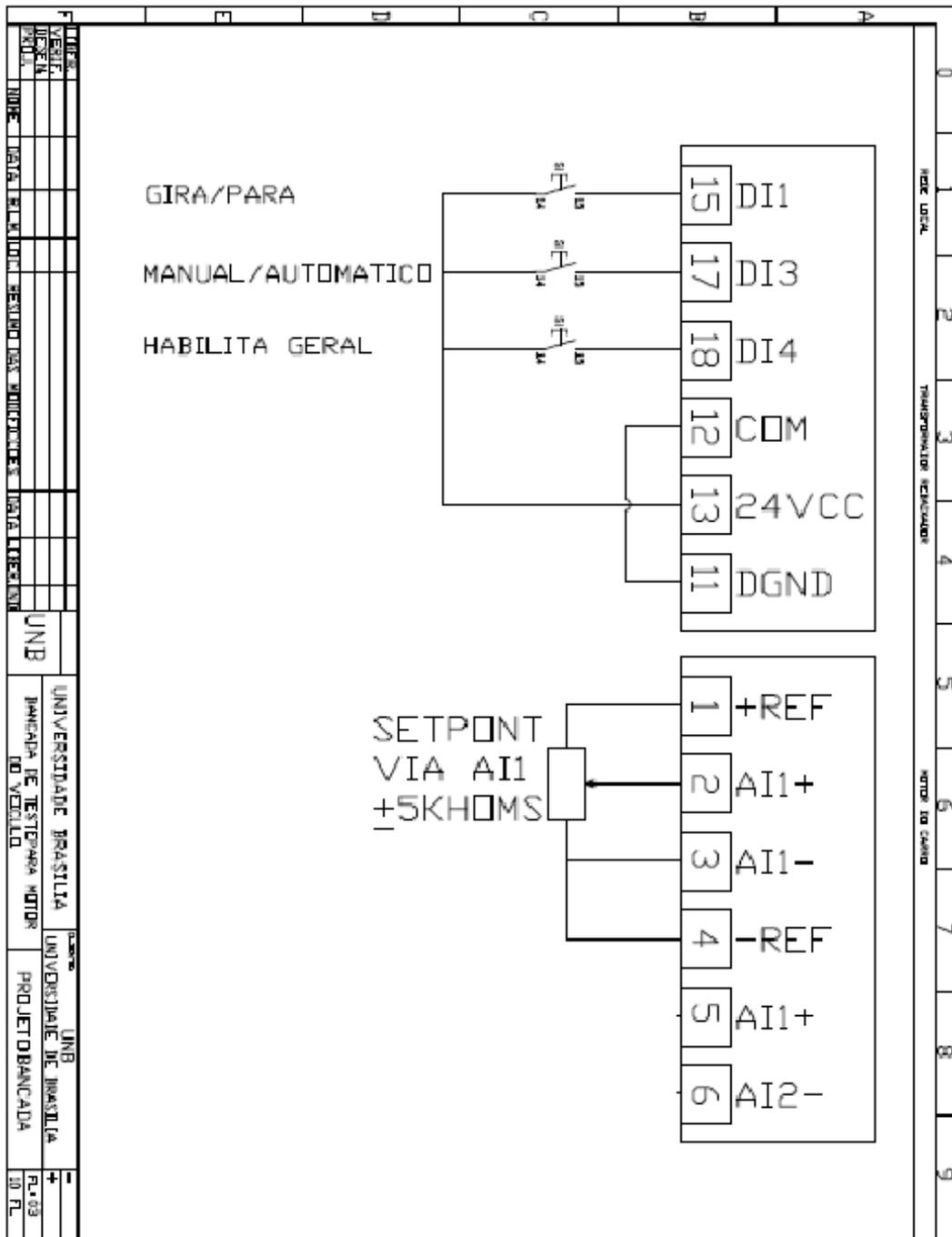
Acesso em: 15/12/2013.

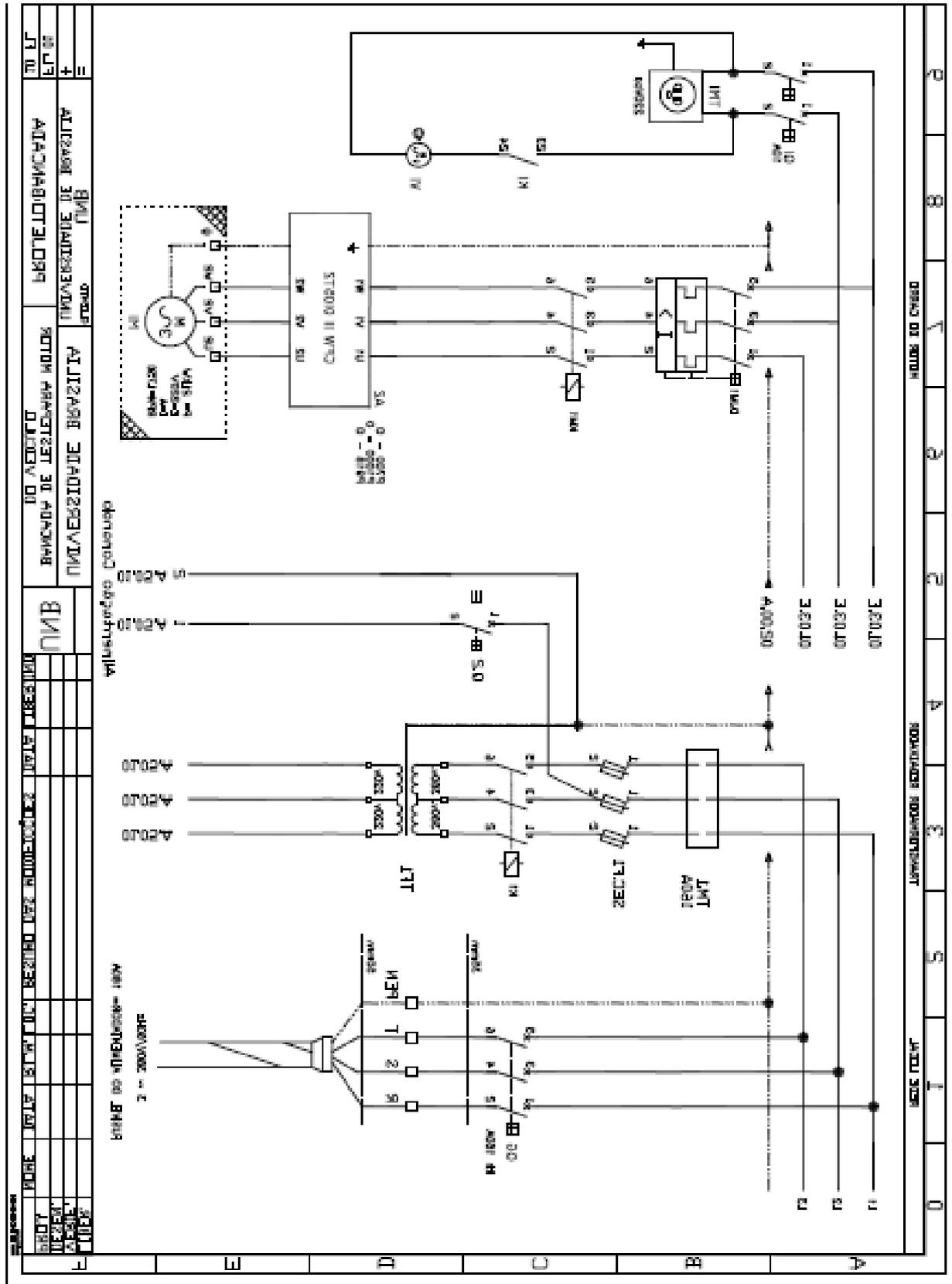
XUE, X. D. et al. Selection of electric motor drives for electric vehicles. 2008, Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08).Proceedings..., AUPEC, 2008.

APENDICE A - PROJETO ELÉTRICO DA BANCADA

A	0						MOTOR DO CARGO	8	9
	REDE LOCAL								
B							TRANSFORMADOR REBAIXADOR	5	6
	0G- DISJUNTOR GERAL SEC-F1-SECCIONADORA FUSIVEL 01 TF1-TRANSFORMADORA REBAIXADORA 380/220 VD LTZ SEC-F2-SECCIONADORA FUSIVEL 02 DUM1-DISJUNTOR MOTOR MP100 CLASS-10 KM1- CONTACTOR CVM150 BOB220VCA A2- INVERSOR DE FREQUENCIA CFV 110J05T2 M1- MOTOR TRIFASICO 2KW-380/220 VLTZ Q1- DISJUNTOR BIFASICO 10A TM1- TABUA UNIVERSAL 2P+T 220VCA								
C									
D									
E									
F	CLIENTE UNB UNIVERSIDADE DE BRASILIA PROJETO BANCADA	UNIVERSIDADE BRASILIA BANCADA DE TESTE PARA MOTOR DO VEICULO	RESUMO DAS MODIFICACOES DATA UNB	DATA UNB	DATA UNB	DATA UNB			DATA UNB
	+								
	FL. 04								
	10 FL.								

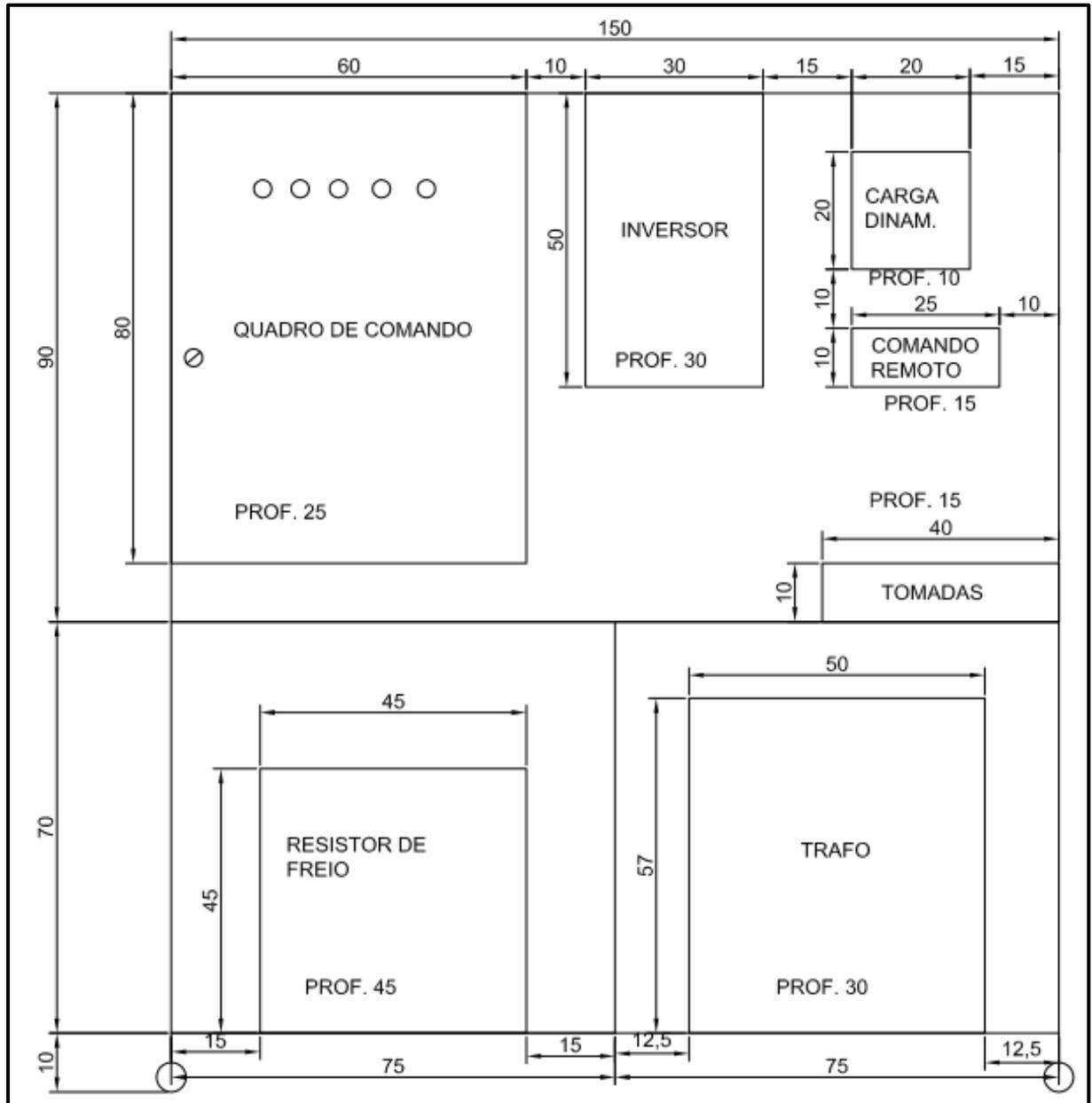




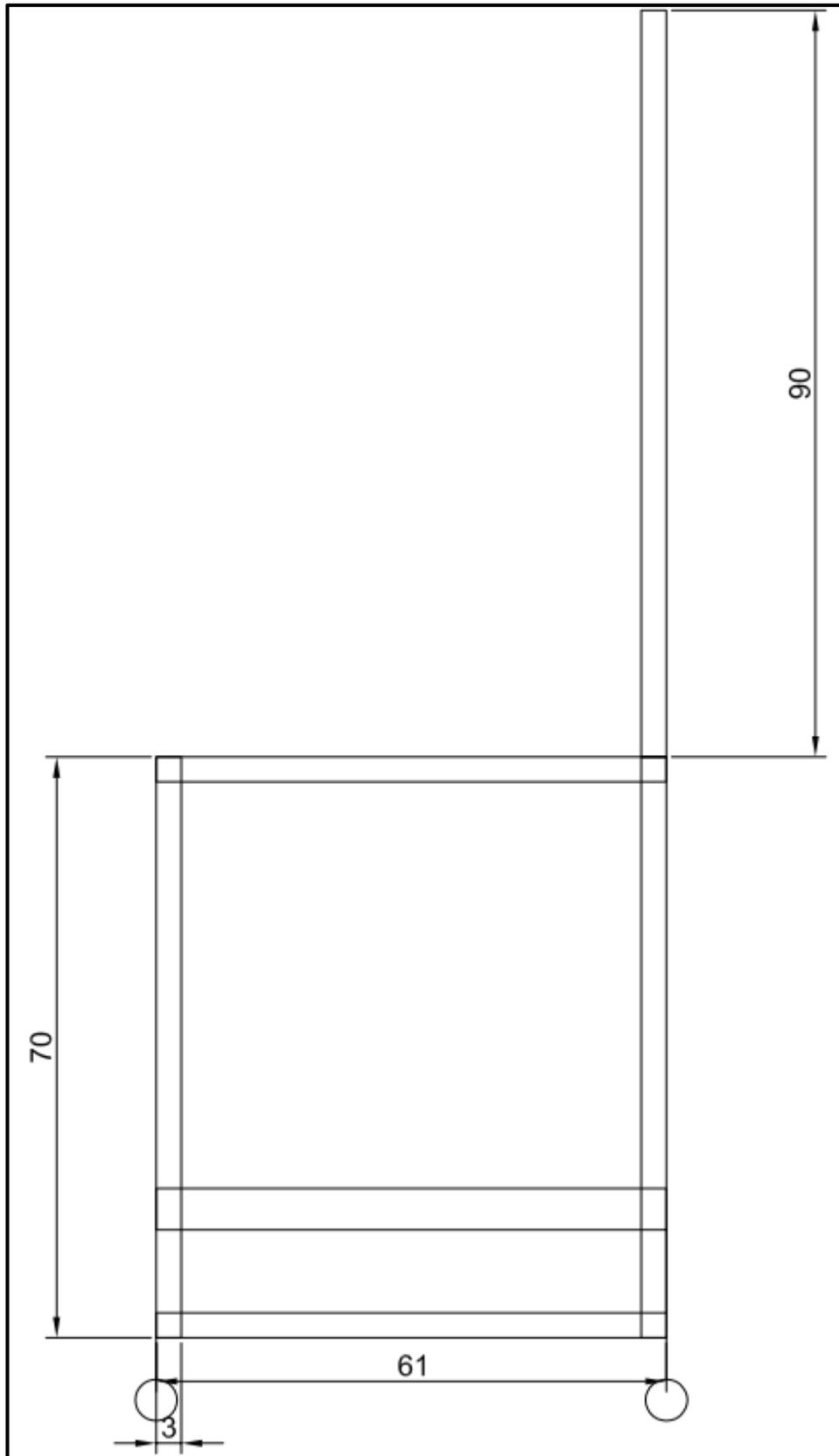


APENDICE B – PROJETO ESTRUTURAL DA BANCADA

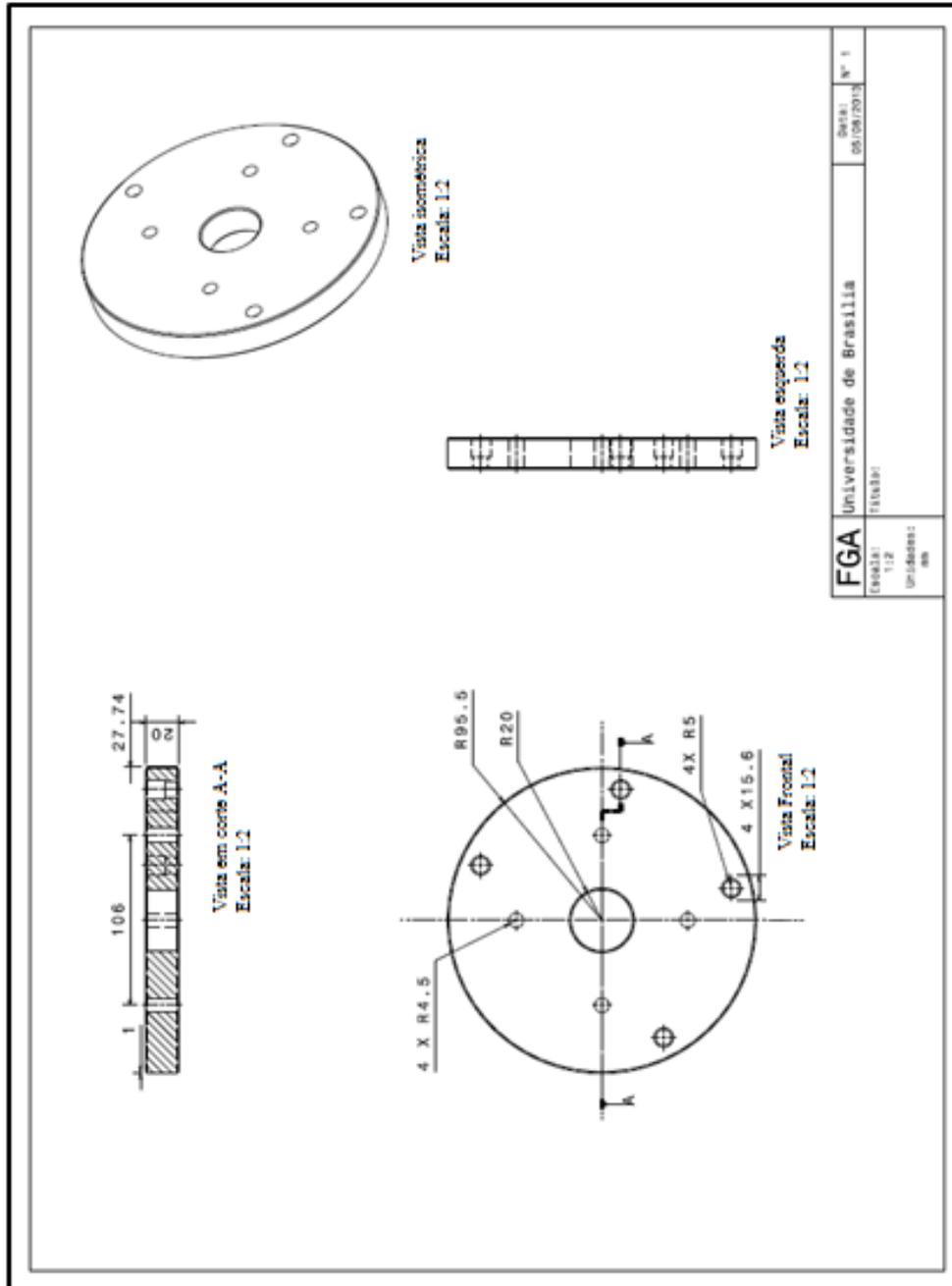
VISTA FRONTAL ESTRUTURA



VISTA LATERAL ESTRUTURA

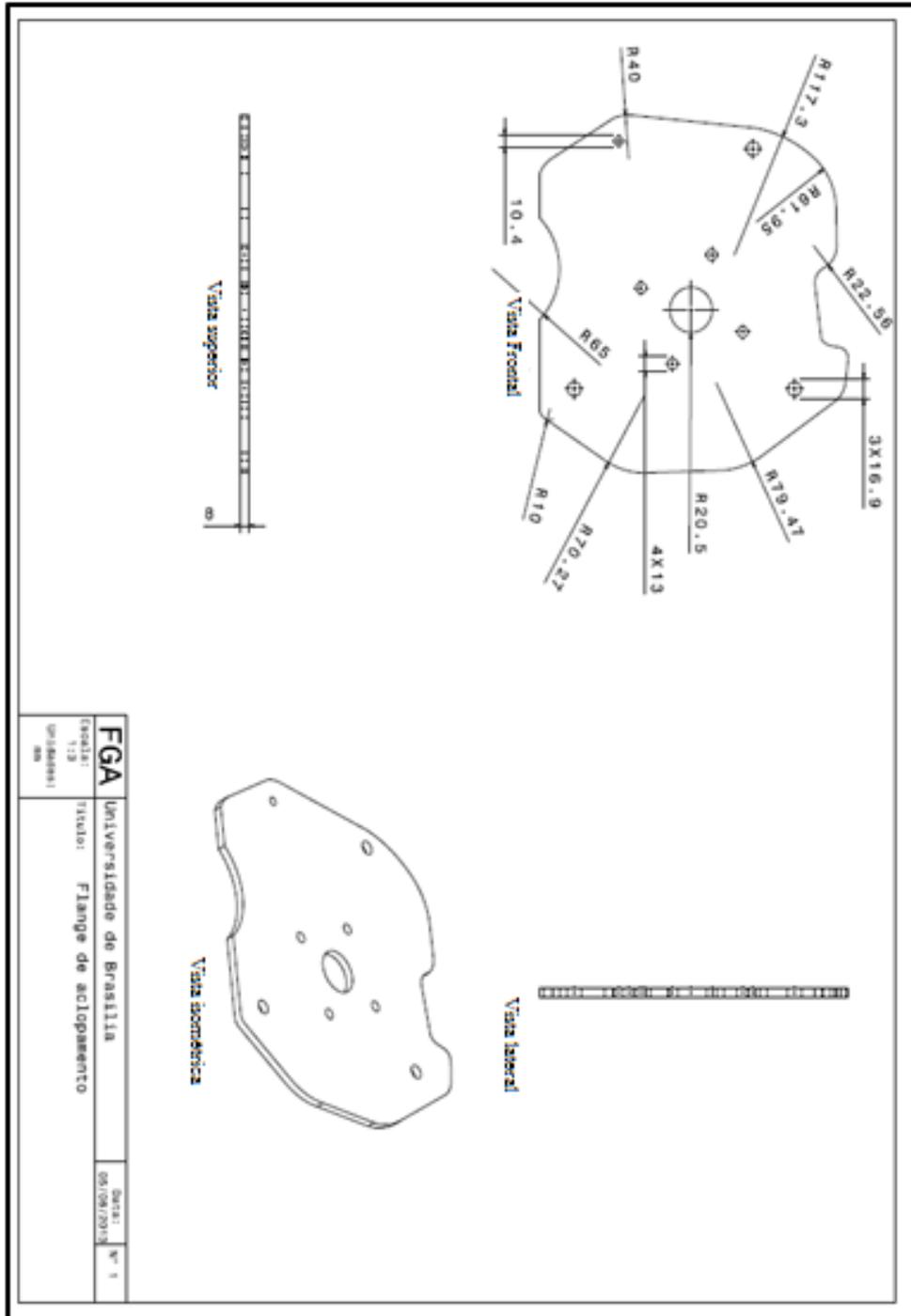


**APENDICE C – PROJETO DO FLANGE DE ACOPLAMENTO
DISTANCIADOR**



FGA	Universidade de Brasília	Disciplina:	Nº 1
		Curso:	06/08/2013
Disciplina:	112	Unidade:	06
Curso:	06	Disciplina:	06

FLANGE



ACOPLAMENTO

