



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Silvio Xavier de Brito Junior

METODOLOGIA PARA PROJETO DE VEÍCULO ELÉTRICO

DOURADOS/MS

2017



Silvio Xavier de Brito Junior

## METODOLOGIA PARA PROJETO DE VEÍCULO ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli

DOURADOS/MS

2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

B862m Brito Junior, Silvio Xavier De

Metodologia para Projeto de Veículo Elétrico / Silvio Xavier De Brito Junior

-- Dourados: UFGD, 2017.

38f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Gerson Bessa Gibelli

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia,  
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Veículos Elétricos. 2. Metodologia. 3. VBA. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

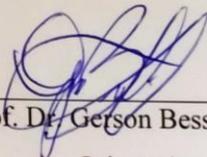
**©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.**

Silvio Xavier de Brito Junior

## METODOLOGIA PARA PROJETO DE VEÍCULO ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

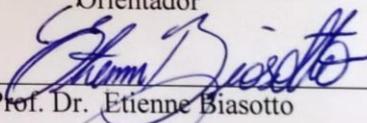
Trabalho aprovado. Dourados, MS, 25 de agosto de 2017:



---

Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli

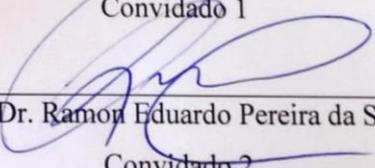
Orientador



---

Prof. Dr. Etienne Biasotto

Convidado 1



---

Prof. Dr. Ramon Eduardo Pereira da Silva

Convidado 2

DOURADOS/MS

2017



*A meus pais Silvio e Nina pelo amor e apoio que me dedicaram durante a realização deste trabalho.*

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus que em seu tamanho amor faz com que tudo coopere para o nosso bem, para o crescimento como indivíduo e como sociedade, agradeço também pela esperança e oportunidades que somente nos são dadas por sua infinita graça.

Ao meu pai Silvio Xavier de Brito, pelo carinho e inspiração a cursar engenharia e a minha mãe Aparecida Antônia da Luz Matos, que é minha referência de esforço e humildade. A ambos pela educação que me proporcionaram.

A minha companheira Tatiane Aparecida de Sousa, que em momentos felizes e difíceis de minha vida, esteve ao meu lado para me apoiar, corrigir e comemorar comigo.

As minhas irmãs, Pricila Calzolaio de Brito Isquierdo e Suyany Sara Spolador Issler, pela alegria que me deram ao ser tio de seus filhos, pois neles vejo esperança de um futuro melhor e por eles desejo contribuir com este futuro.

Aos meus tios e tias por toda confiança depositada em mim.

A instituição Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, pela incessante busca em tornar o estado do Mato Grosso do Sul uma referência em educação no país, por não limitar a educação as fronteiras do município e permitir o acesso de todos.

A Capes e ao CNPq por todas as bolsas e incentivos a pesquisa dos quais tive acesso e me permitiram desempenhar algum papel na ciência.

Ao professor Dr. Gerson Bessa Gibelli, pela paciência e compromisso em desenvolver este trabalho.

Ao professor Dr. Robson Leal da Silva, pelos anos em que foi meu tutor em projetos de pesquisa e pela contribuição para viabilização do programa BRAFITEC na UFGD.

A todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para minha formação, aos colegas, técnicos, professores e terceirizados o meu muito obrigado.

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

*“Os ventos e as ondas estão sempre do lado dos navegadores mais competentes”*

*(Edward Gibbon)*

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## RESUMO

---

Devido a crescente expansão no mercado de veículos elétricos, este trabalho vem acrescentar uma metodologia de projeto com algumas simplificações que facilitam o primeiro contato de engenheiros com o projeto de veículo elétrico. Foi desenvolvido um programa em plataforma *Office Excel VBA*® que auxilia no uso da metodologia desenvolvida. Este programa possibilita que o projetista selecione entre os equipamentos do banco de dados, qual combinação melhor lhe atende, e obtém resultados para a tomada de decisão. Como estudo de caso aborda-se os requisitos de uma competição universitária e projeta-se um veículo para esta.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos, Metodologia, VBA.

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## ABSTRACT

---

On account of the growing market of electric vehicles, this work has added a proposal methodology with some simplifications that facilitate the first contact of engineers with the electric vehicle project. A software was developed in Office Excel VBA® platform that assists in the use of the developed methodology. This software enables the designer to select among the database equipment, improve the best option and obtain results for decision making. As a case study, the requirements of a university competition are discussed and a vehicle is designed for.

**Keywords:** Electric Vehicle, Methodology, VBA.

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

FIGURA 1-1: VEÍCULO ELÉTRICO LA JAMAIS CONTENTE.....	1
FIGURA 1-2: EVOLUÇÃO GLOBAL DE CARROS ELÉTRICOS EM CIRCULAÇÃO. ....	2
FIGURA 1-3: NISSAN LEAF. ....	2
FIGURA 1-4: TOYOTA PRIUS. ....	3
FIGURA 1-5: LINHA DE MONTAGEM DE VE. ....	3
FIGURA 1-6: RENAULT TWIZY MONTADO NO BRASIL. ....	4
FIGURA 1-7: FÓRMULA E ETAPA EM NOVA IORQUE.....	5
FIGURA 1-8: ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE VEÍCULOS NA BÉLGICA.....	5
FIGURA 1-9: ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE VEÍCULOS NA ALEMANHA. ....	6
FIGURA 1-10: ADVANCED VEHICLE SIMULATOR. ....	7
FIGURA 2-1: ESTUDO ERGONÔMICO DO DESIGN DESENVOLVIDO PELA EQUIPE DA UFRJ. ....	9
FIGURA 2-2: INFLUÊNCIA DA CARGA NA FORÇA DE ATRITO ( <i>FAT</i> ). ....	10
FIGURA 2-3: DIFERENTES GEOMETRIAS PARA PROTÓTIPOS DE COMPETIÇÃO. ....	11
FIGURA 2-4: DIAGRAMA DE FORÇAS.....	11
FIGURA 2-5: ESTRUTURA DE UM PROTÓTIPO EM CONSTRUÇÃO.....	12
FIGURA 2-6: ARQUITETURA DE VE HÍBRIDO.....	13
FIGURA 2-7: ÔNIBUS URBANO MOVIDO A HIDROGÊNIO.....	13
FIGURA 2-8: TRÓLEBUS EM CIRCULAÇÃO NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	14
FIGURA 2-9: TESTES COM VIAS ELETRIFICADAS SEM FIO. ....	14
FIGURA 2-10: TRANSRAPID ALEMÃO EM SHANGAI. ....	14
FIGURA 2-11: CHASSI DE UM PARRY PEOPLE MOVER. ....	15
FIGURA 2-12: VE PRINCIPIA MOVIDO A ENERGIA SOLAR. ....	16
FIGURA 2-13: ARQUITETURA VEÍCULO ELÉTRICO PURO.....	16
FIGURA 2-14: MOTORES DE CC TÍPICOS COM E SEM ESCOVAS. ....	17
FIGURA 2-15: MOTOR SÍNCRONO DE ROTOR BOBINADO, MODELO R240 DE 65W UTILIZADO PELA RENAULT. ....	18
FIGURA 2-16: EXEMPLO DE CONTROLADOR DE CC COM STEP-DOWN APLICADO EM CIRCUITO ALIMENTADO POR CÉLULA COMBUSTÍVEL.....	19
FIGURA 2-17: CIRCUITO COM 6 CHAVEAMENTOS, FORNECENDO CA TRIFÁSICA.....	20
FIGURA 2-18: CURVAS DE DESCARGA DA BATERIA V-LYP160. ....	22
FIGURA 2-19: CICLO DE ENSAIO URBANO EPA - LA4.....	23

FIGURA 2-20: CICLO DE ENSAIO WOT.....	23
FIGURA 2-21: ESTUDANTES POSAM JUNTO AOS SEUS PROTÓTIPOS NO PRIMEIRO DIA DE SHELL ECO-MARATHON BRASIL EM COTIA, SP. ....	24
FIGURA 2-22: EQUIPE UJI ELECTRIC RACING TEAM, CATEGORIA MOTOSTUDENT ELÉTRICO..	25
FIGURA 3-1: TELA DE INICIALIZAÇÃO XBJ VEHICLE. ....	31
FIGURA 3-2: CLASSIFICAÇÃO DO VEÍCULO INDICADO. ....	32
FIGURA 3-3: INTERFACE DE ESCOLHA DO DESIGN. ....	32
FIGURA 3-4: INTERFACE DE ESCOLHA DA BATERIA. ....	33
FIGURA 3-5: INTERFACE DE ESCOLHA DO MOTOR. ....	33
FIGURA 3-6: INTERFACE DE RESULTADOS.....	35
FIGURA 3-7: BLOCO DE RESULTADOS. ....	36
FIGURA 4-1: CAIXA DE FERRAMENTAS GRÁFICAS EXCEL VBA. ....	37
FIGURA 4-2: SUGESTÃO DE VE DISPONÍVEIS NO MERCADO. ....	38
FIGURA 4-3: COMBINAÇÕES POSSÍVEIS A PARTIR DO BANCO DE DADOS. ....	38
FIGURA 4-4: INSERÇÃO DE NOVO COMPONENTE. ....	39
FIGURA 4-5: CARACTERÍSTICAS DO DESIGN ESCOLHIDO. ....	40
FIGURA 4-6: CARACTERÍSTICAS DA BATERIA ESCOLHIDA. ....	40
FIGURA 4-7: ESCOLHA DO MOTOR.....	41
FIGURA A-1: PAGINA 1, RELATÓRIO 1. ....	49
FIGURA A-2: PAGINA 2, RELATÓRIO 1. ....	50
FIGURA A-3: PAGINA 1, RELATÓRIO 2. ....	51
FIGURA A-4: PAGINA 2, RELATÓRIO 2. ....	52
FIGURA A-5: RESULTADO COMBINAÇÃO 1. ....	53
FIGURA A-6: RESULTADO COMBINAÇÃO 2. ....	53
FIGURA A-7: RESULTADO COMBINAÇÃO 3. ....	54
FIGURA A-8: RESULTADO COMBINAÇÃO 4. ....	54
FIGURA A-9: RESULTADO COMBINAÇÃO 5. ....	55
FIGURA A-10: RESULTADO COMBINAÇÃO 6. ....	55
FIGURA A-11: RESULTADO COMBINAÇÃO 7. ....	56
FIGURA A-12: RESULTADO COMBINAÇÃO 8. ....	56

LISTA DE TABELAS

---

TABELA 3-1: A ESQUERDA: DADOS DE CATÁLOGO E A DIREITA: ADEQUAÇÃO DE UNIDADES..	34
TABELA 3-2: PRIMEIROS 15 SEGUNDOS DE ENSAIO NA PLANILHA “RESULTADOS FINAIS”. .....	35
TABELA 4-1: REQUISITOS <i>SHELL ECO-MARATHON AMERICAS</i> 2016.....	39
TABELA 4-2: COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS UTILIZANDO DIFERENTES MOTORES EM ENSAIO DE VELOCIDADE MÁXIMA (WOT).....	41

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

---

<b>ACV</b>	Análise De Ciclo De Vida
<b>AECV</b>	Análise Estratégica Do Ciclo De Vida
<b>BEV</b>	<i>Battery Electric Vehicle</i>
<b>CA</b>	Corrente Alternada
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>CI</b>	Combustão Interna
<b>DoD</b>	<i>Depth of Discharge</i>
<b>IHM</b>	Interface Homem Máquina
<b>KERS</b>	<i>Kinect Energy Recovery System</i>
<b>PHEV</b>	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicles</i>
<b>SEM</b>	<i>Shell Eco Marathon</i>
<b>VBA</b>	<i>Visual Basic Advanced</i>
<b>VCI</b>	Veículos De Combustão Interna
<b>VE</b>	Veículos Elétricos
$C_T$	Consumo Total de Carga
$I$	Corrente de Descarga
<b>T</b>	Torque
$\omega$	Velocidade Angular
$\mu_{at}$	Coefficiente de Atrito
$C_d$	Coefficiente de Arrasto

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## SUMÁRIO

---

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. OBJETIVO .....	8
1.2. JUSTIFICATIVA.....	8
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. DESIGN.....	9
2.1.1. <i>Pneus E Força De Atrito</i> .....	10
2.1.2. <i>Aerodinâmica E Força De Arrasto</i> .....	10
2.1.3. <i>Inclinação</i> .....	11
2.2. ARQUITETURAS .....	12
2.3. MOTORES .....	17
2.3.1. <i>Controlador</i> .....	18
2.3.2. <i>Transmissão</i> .....	20
2.3.3. <i>Frenagem Regenerativa</i> .....	21
2.4. BATERIAS .....	21
2.4.1. <i>Autonomia</i> .....	21
2.4.2. <i>Ciclo De Ensaio</i> .....	22
2.5. COMPETIÇÕES UNIVERSITÁRIAS .....	24
2.6. VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS .....	25
CAPÍTULO 3. METODOLOGIA.....	27
3.1. FORÇAS IMPLICADAS .....	27
3.2. CONVERSÕES DE ENERGIA E AUTONOMIA.....	29
3.3. INTERFACE HOMEM MÁQUINA .....	31
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....	37
4.1. INTERFACE HOMEM MÁQUINA (IHM).....	37
4.2. ESTUDO DE CASO.....	39
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO.....	43
5.1. TRABALHOS FUTUROS .....	43

REFERÊNCIAS.....	45
ANEXOS .....	49

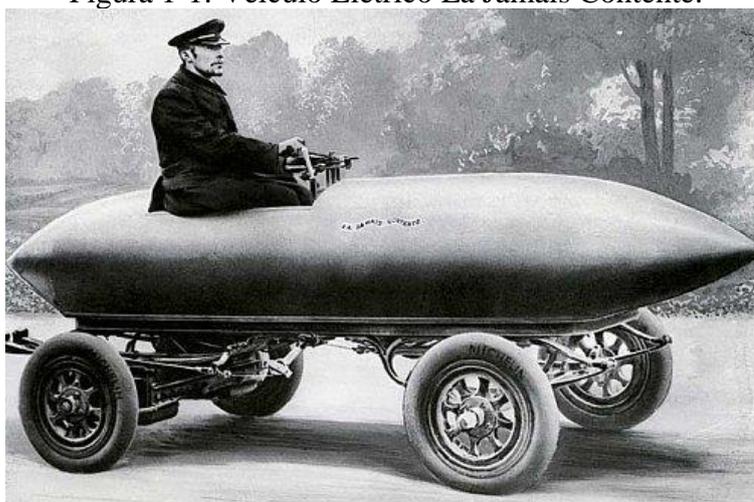
## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

---

A evolução do mercado de transportes e do uso de energia nos apresenta um período de transição tecnológica, onde o uso de combustíveis fósseis nos transportes do dia a dia é apontado por potências mundiais como um fator de grande impacto neste cenário, sendo que para realizar esta transição verifica-se o empenho das empresas e governos obstinados em despertar o mercado de Veículos Elétricos (VE), que está adormecido há muito tempo.

Os VE começaram a ser comercializados no século XIX, porém apenas no final deste século se tornaram fortes concorrentes no mercado. Conforme apresentado na Figura 1-1 o “*La Jamais Contente*” em 1899 foi o primeiro veículo a atingir a velocidade de 1 milha por minuto (106 km/h). Por serem rápidos, limpos e silenciosos os VE superavam as preferências por Veículos a Vapor (VV) ou a Veículos a Combustão Interna (VCI) (Lowry; Larmine, 2012).

Figura 1-1: Veículo Elétrico La Jamais Contente.



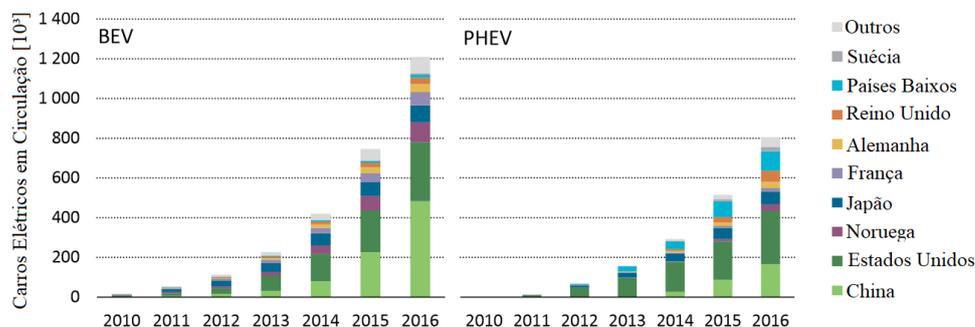
Fonte: (La France Pittoresque, 2016).

Após alguns anos no topo do mercado, os VE foram perdendo espaço para os VCI devido aos avanços tecnológicos no sistema de partida em 1912 e a diminuição de custos com o sistema de produção criado por Henry Ford (Anderson, 2010). Porém o mesmo autor prevê nos próximos anos a expansão da indústria de VE, tornando-se capaz de competir economicamente e até mesmo inverter a vantagem que os VCI alcançaram no último século.

O relatório da Agência Internacional de Energia (AIE) apresenta que o número de *Battery Electric Vehicle* (BEV) somados aos *Plug-In Hybrid Electric Vehicles* (PHEV) ultrapassou em 2016 um total de 2 milhões de veículos (Figura 1-2), confirmando a previsão

de crescimento com estimativa entre 9 e 20 milhões de VE nas ruas até 2020 (International Energy Agency, 2017).

Figura 1-2: Evolução global de carros elétricos em circulação.



Uma nova geração de VE está surgindo e isto se torna cada vez mais evidente no cenário mundial, renomadas fabricantes de VCI têm apostado neste mercado como a Nissan, que possui o Nissan LEAF (Figura 1-3) puramente elétrico em crescente aumento de vendas desde 2010 (Nissan, 2017).

Figura 1-3: Nissan LEAF.



Fonte: (Nissan, 2017).

Até mesmo a Toyota sem abrir mão do motor a Combustão Interna (CI), criou o Prius (Figura 1-4) que possui um enorme aumento de economia no combustível por ser um veículo híbrido elétrico (TOYOTA, 2017).

Figura 1-4: Toyota Prius.



Fonte: (TOYOTA, 2017).

No Brasil, desde 2006 a Itaipu Binacional construiu mais de 80 protótipos (Figura 1-5), a partir de veículos Palio Weekend doados pela Fiat e baterias ZEBRA importadas, estes protótipos são usados ainda hoje para transporte dentro da usina e estão disponíveis para visitantes que desejam ter a experiência de conduzi-lo (Itaipu Binacional, 2017). As baterias ZEBRA são compostas de sódio, níquel e cloro, mesmo sendo recicláveis e possuindo uma carga específica [Ah/kg] equivalente as baterias de Li-íon, sua potência específica [W/kg] limita atualmente seu uso a VE experimentais (Dixon et al., 2009).

Figura 1-5: Linha de montagem de VE.



Fonte: (Itaipu Binacional, 2017).

O programa de VE da Itaipu Binacional continua realizando pesquisa e desenvolvimento, com parcerias firmadas tem adquirido VE que já são comerciais, como é o caso do Renault Twizy (Figura 1-6) que é montado dentro do Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Montagem de Veículos Elétricos (CPDM-VE). Os veículos comerciais estão sendo adquiridos para pesquisas sobre o impacto de VE na rede elétrica, assim como o projeto de compartilhamento de veículos popularmente conhecidos com *car sharing*, que desenvolve novos conceitos de mobilidade urbana e uso eficiente dos transportes (Itaipu Binacional, 2017).

Figura 1-6: Renault Twizy montado no Brasil.



Fonte: (Itaipu Binacional, 2017).

Dentre os fatores que contribuem para o desenvolvimento dos veículos elétricos, a pesquisa e desenvolvimento são essenciais, e para que existam investimentos no setor é interessante que haja visibilidade e retorno do investimento. Desta forma surgiu a Fórmula E (Figura 1-7), competição que em 2017 alcançou sua terceira temporada e contando com grandes nomes da indústria automobilística, empresas que investem em desenvolvimento tecnológico que no futuro poderá chegar as ruas (Richards, 2017).

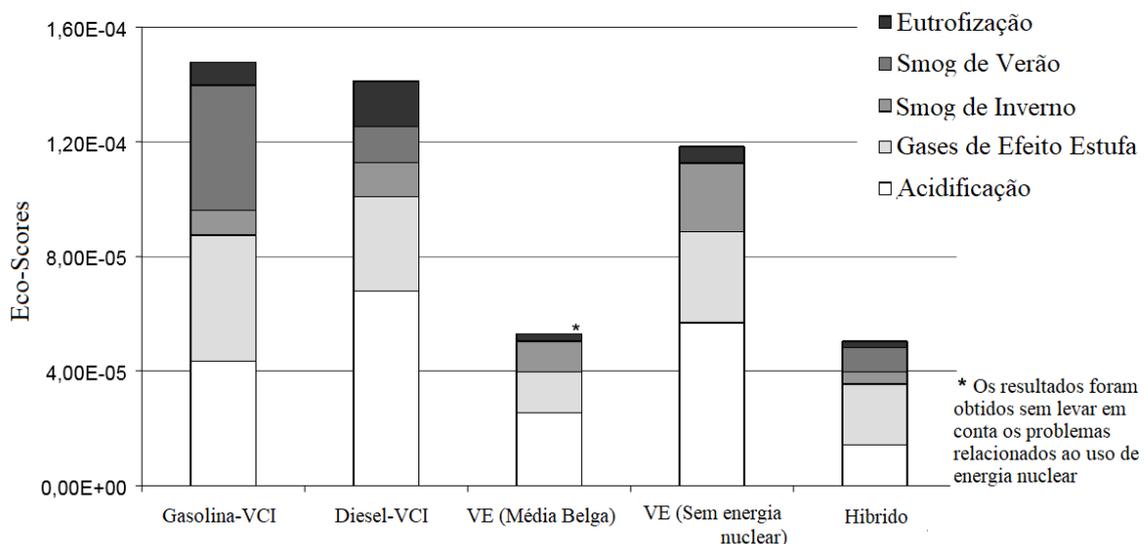
Figura 1-7: Fórmula E etapa em Nova Iorque.



Fonte: (Richards, 2017)

O crescimento deste mercado também é impulsionado pelas baixas emissões de poluentes dos VE, porém essas emissões dependem diretamente da matriz energética do país. Como demonstram o resultado de uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) na Bélgica (Figura 1-8), o uso da energia nuclear em sua matriz energética é fator de grande peso na análise por ser uma energia renovável com baixas emissões (Nicolay, 2000).

Figura 1-8: Análise de Ciclo de Vida de veículos na Bélgica.

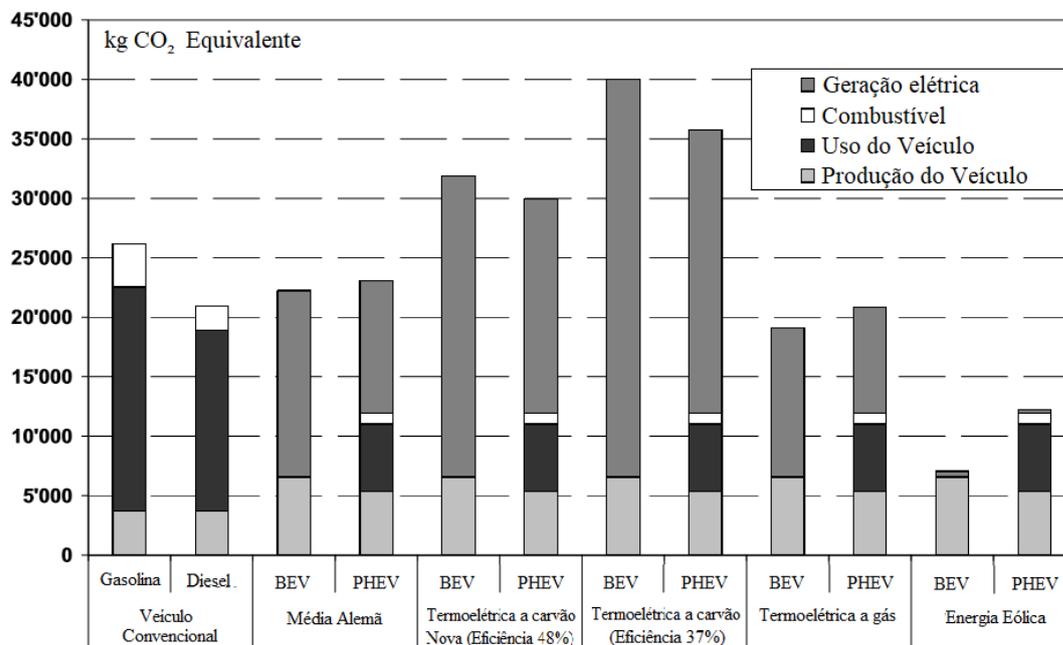


Fonte: Adaptado de (Nicolay, 2000).

Helmes et al. (2010) também realizaram um ACV para diferentes perspectivas da matriz energética Alemã (Figura 1-9), atual e projetada, com composição puramente renovável de energia eólica, os níveis de CO<sub>2</sub> equivalente seriam reduzidos drasticamente ao substituir VCI

por VE. Porém para composições com termoelétricas a carvão e a gás os resultados tornam mais equilibrados ou até mesmo desfavoráveis aos VE.

Figura 1-9: Análise de Ciclo de Vida de veículos na Alemanha.



Fonte: Adaptado de (Helms et al., 2010).

Para o Brasil pode-se citar a Análise Estratégica do Ciclo de Vida (AECV) realizada por Almeida (2014), que aponta um ganho ambiental ao utilizar VE no país devido à grande parcela de energia hidrelétrica existente na matriz energética. Nesta AECV o autor se difere da tradicional ACV por priorizar os impactos do produto utilizando uma ferramenta FMEA, aumentando ainda mais as vantagens dos VE.

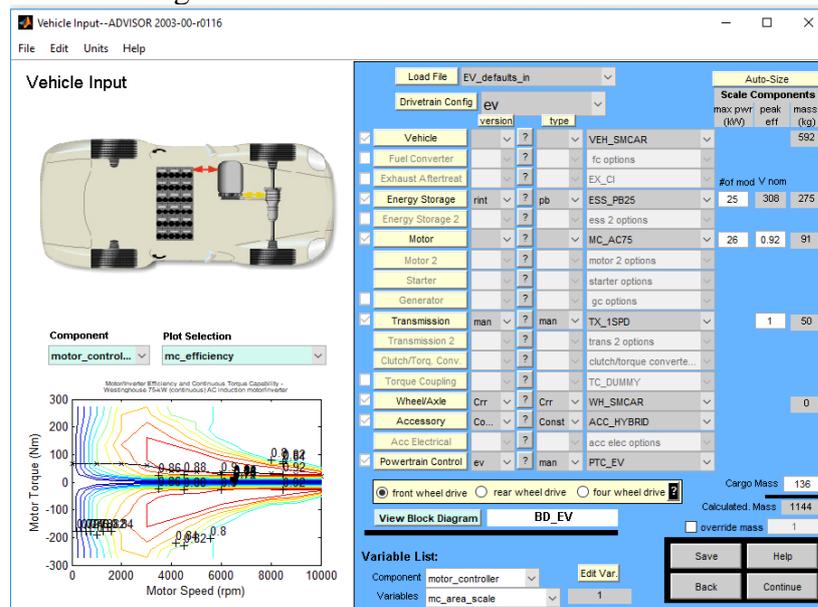
Nos relatórios e análises apresentadas onde se lê BEV e PHEV, refere-se respectivamente aos veículos elétricos puros e híbridos *plug-in*, sendo estas duas as principais arquiteturas de veículos elétricos. Neste trabalho são explorados principalmente os veículos puramente elétricos, que são os VE alimentados por baterias recarregáveis e por um controlador eletrônico.

Atualmente são poucas as referências técnicas no Brasil para elaboração do projeto de VE, a fabricação de protótipos ou conversão de veículos convencionais em elétricos vem sendo realizada apenas com material de conhecimento comum compartilhado em fóruns e sites na internet.

Na literatura internacional encontra-se a ISO 6469 e a ISO 8715 ambas desenvolvidas pelo mesmo comitê, dos Veículos de Propulsão Elétrica, que normatizam critérios como a segurança de um VE. Existem também os livros de Lowry e Larmine (2012) e de Anderson (2010), que são percursos na discussão do tema, além destes meios também se encontra conteúdo em catálogos de fabricantes (HPEVS, 2017) e sites especializados em conversões de veículos (EV WEST, 2017).

Quanto ao desenvolvimento de aplicativos via *softwares* os Estados Unidos em 1994 criaram o *Advanced Vehicle Simulator* (ADVISOR), inicialmente esta ferramenta era destinada apenas a VCI, entretanto em 2003 recebeu uma atualização para simular veículos híbridos e elétricos puros conforme apresentado na Figura 1-10, sendo sua última atualização. Encontrou-se também o *Simulation EDUCECO NOGARO* (2012) criado por Yvan Danet que participou da equipe Microjoule na competição universitária francesa *EducEco Challenge*.

Figura 1-10: Advanced Vehicle Simulator.



Fonte: (National Renewable Energy Laboratory, 2003).

## 1.1. OBJETIVO

A principal contribuição desta pesquisa é apresentar uma metodologia sistematizada para executar projetos de VE puros de competição por meio de uma Interface Homem Máquina (IHM) desenvolvida na plataforma *Office Excel VBA*®.

Esta pesquisa também auxiliará o corpo discente da FAEN na UFGD durante a elaboração de projetos no tema dos VE puros, por meio da IHM que possui uma linguagem explicativa sobre as tecnologias, materiais e métodos utilizados nesse setor.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Este trabalho possui grande contribuição pelo fato de não haver na literatura uma metodologia de projeto de VE aplicada em *software* que esteja atualizada e seja de entendimento simples para acadêmicos e projetistas. Neste contexto a IHM auxilia a compreensão e permite a automação dos cálculos propostos, reduzindo o tempo de projeto e aumentando os critérios para tomada de decisão.

Além disso, este trabalho pode ser utilizado como referência para que acadêmicos façam projetos e construam protótipos de veículos elétricos aplicando os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, assim fomentando o interesse no mercado de VE.

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido conforme descrito abaixo:

No Capítulo 2 são apresentados os componentes de um projeto de VE, as competições automotivas com categoria elétrica e *softwares* existentes no mercado.

No Capítulo 3 são apresentadas as equações e hipóteses que viabilizaram o banco de dados na construção da IHM.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados da interface final da IHM e das simulações, onde o conteúdo apresentado possibilita ao usuário um contato simplificado aos VE e seu projeto.

No Capítulo 5 apresenta-se uma metodologia simplificada para projeto de VE e a criação de uma IHM que contribui com a aproximação do conteúdo ao usuário leigo.

## Capítulo 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

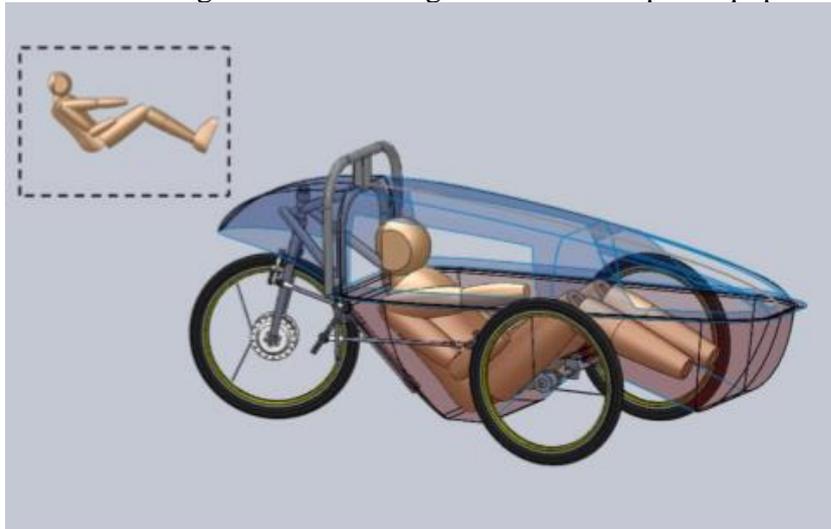
---

Baseado na literatura encontrada, este capítulo apresenta os componentes de um projeto de Veículo Elétrico (VE), as competições automotivas com categoria elétrica e *softwares* existentes no mercado.

### 2.1. DESIGN

Platcheck (2012) definiu design como ideia, projeto ou plano para a solução de um problema, portanto quando se deseja elaborar um VE o projetista primeiramente o idealiza conforme suas necessidades, disponibilidade de matéria prima e restrições. Para Araújo (2013) em seu trabalho precisou-se das características ergonômicas no desenvolvimento do sistema de direção da equipe Sparta VE UFRJ, conforme apresentado na Figura 2-1.

Figura 2-1: Estudo ergonômico do design desenvolvido pela equipe da UFRJ.

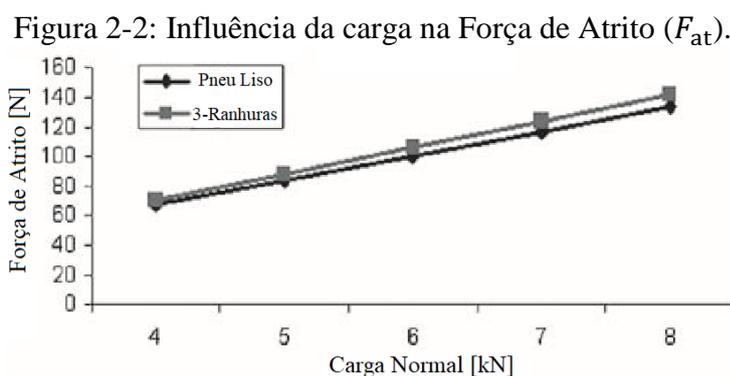


Fonte: (Araújo, 2013).

Dentre as especificações que o design contempla, foi selecionado neste trabalho a Massa ( $m$ ), as dimensões e os materiais de que é composto o veículo idealizado, sendo que estes dados irão interferir diretamente no esforço necessário para movimentar o VE devido às forças resistivas na qual ele será submetido.

### 2.1.1. PNEUS E FORÇA DE ATRITO

A Figura 2-2 apresenta a Força de Atrito ( $F_{at}$ ) na qual é proporcional a massa do veículo somada a sua carga (Narasimha Rao et al., 2006), dadas as mesmas condições de inclinação para qualquer velocidade, a  $F_{at}$  se altera muito pouco sendo praticamente constante. Portanto em baixas velocidades os pneus e os rolamentos dos eixos possuem uma alta contribuição no somatório das forças resistivas (Lowry; Larmin, 2012).



Fonte: Adaptado de (Narasimha Rao et al., 2006).

Estes valores variam pouco ao longo de um trajeto, pois não dependem diretamente da velocidade, mas indiretamente através das temperaturas e pressão internas aos pneus ou dos desgastes dos eixos ou rolamentos (Narasimha Rao et al., 2006).

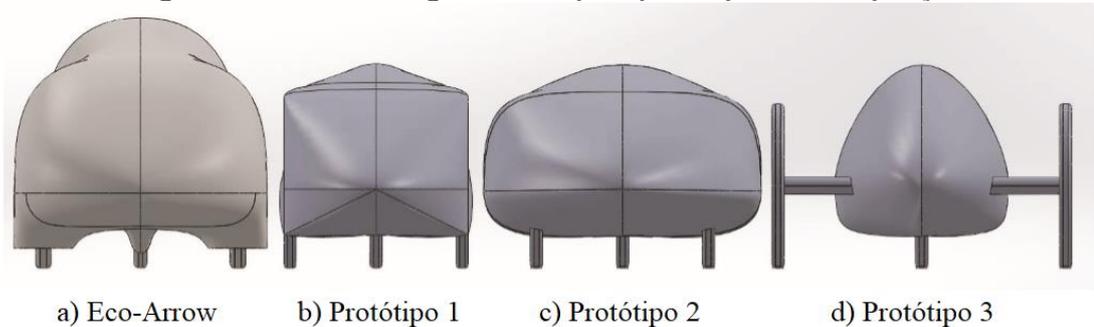
### 2.1.2. AERODINÂMICA E FORÇA DE ARRASTO

A força de arrasto ( $F_d$ ) (Figura 2-4) por sua vez é mais dinâmica, sendo determinada pelo quadrado da velocidade de deslocamento, além de ser proporcional aos atributos estáticos de forma e de material do qual o veículo é composto (Lowry; Larmin, 2012).

No estudo aerodinâmico de um VE, sabe-se da mecânica dos fluidos que o formato com menor arrasto aerodinâmico conhecido é o de gota, com relação de 2,4 entre comprimento e diâmetro atingindo um coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) de 0,04 (Lowry; Larmin, 2012). Porém o projeto de chassis, número de rodas e distribuição de componentes impossibilita os veículos de atingir este formato ótimo, sendo assim são adotadas algumas estratégias de desenho que reduzam o arrasto.

No trabalho de Cieslinski et al. (2016) foram abordadas diferentes geometrias (Figura 2-3), sendo uma existente e três idealizadas de um protótipo elétrico para competição, dentre os resultados o VE com menor  $C_d$  encontrado foi de 0,093 para o Protótipo 1 (b) e o maior 0,197 para o Protótipo 3 (d).

Figura 2-3: Diferentes geometrias para protótipos de competição.

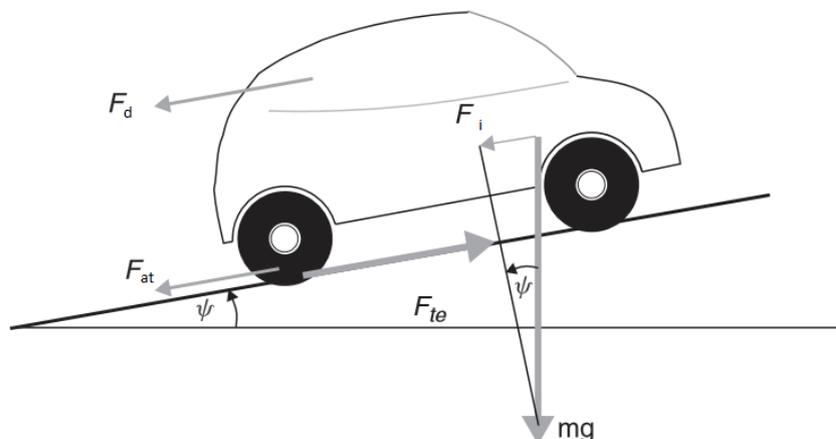


Fonte: (Cieslinski et al., 2016).

### 2.1.3. INCLINAÇÃO

A força necessária para percorrer relevos ( $F_i$ ) (Figura 2-4) também segue proporcional a  $m_t$ , porém em caso de descidas a força de inclinação é negativa e favorável ao deslocamento do veículo, podendo ser aproveitada em mecanismos de regeneração de energia. A soma da energia recuperada em frenagens e aproveitamento de descidas pode reduzir até 25% do consumo (Juda, 2011).

Figura 2-4: Diagrama de forças.



Fonte: Adaptado de (Lowry; Larmine, 2012).

De forma oposta, em inclinações ascendentes a  $F_i$  é positiva e acrescenta resistência ao deslocamento. Para reduzir essa resistência utiliza-se de artifícios construtivos, optando, por exemplo, por materiais compostos leves na elaboração do chassi, materiais menos espessos na carenagem e a escolha de baterias e motores mais leves. Yamagata et al. (2014) descrevem como prepararam um protótipo (Figura 2-5) para competir na *Eco-Run Race* no Japão, a pista desta competição possui subidas com inclinação de 10%, portanto sua equipe precisou elaborar um carro na ordem de 50kg, além do desenvolvimento de um motor que fosse mais leve e pudesse aproveitar as decidas para gerar energia.

Figura 2-5: Estrutura de um protótipo em construção.



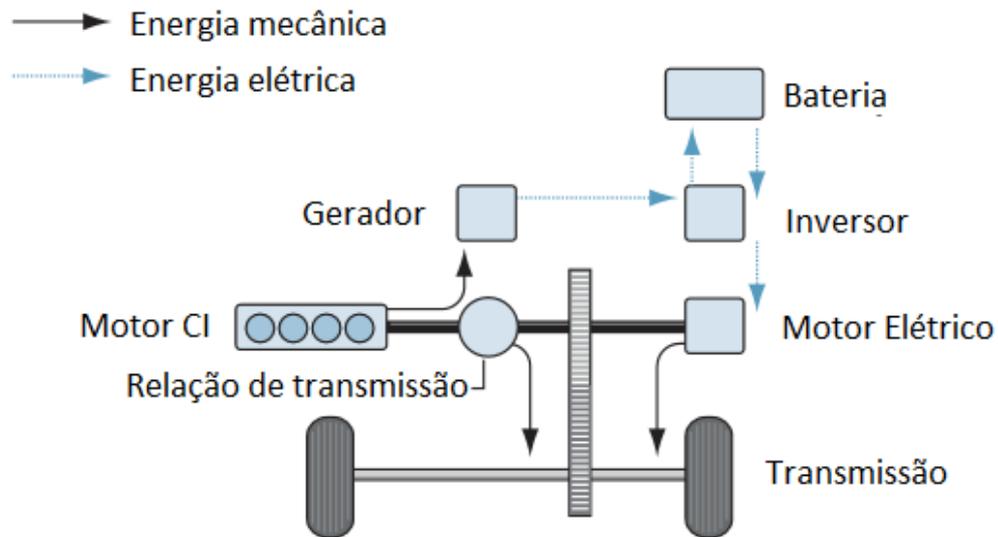
Fonte: (Yamagata et al., 2014).

## 2.2. ARQUITETURAS

Um veículo com tração elétrica não é necessariamente alimentado por baterias, os VE podem possuir diferentes arquiteturas de funcionamento de acordo com a aplicação e resultados esperados.

Um veículo com arquitetura híbrida (Figura 2-6) possui além do tradicional motor CI um ou mais motores elétricos, estes motores podem trabalhar de maneira simultânea ou alternada. Na definição de Raskin e Shah (2006) veículos híbridos utilizam motores elétricos para aumentar a eficiência dos tradicionais motores CI. Em caso de frenagens pode-se utilizar o motor elétrico na função de gerador, para reabastecer as baterias aumentando sua autonomia e ainda possibilita o desligamento do motor CI em paradas com o sistema *Start/Stop*.

Figura 2-6: Arquitetura de VE híbrido.



Fonte: Adaptado de (Raskin; Shah, 2006).

Existem também VE que tem como fonte de energia os dispositivos eletroquímicos alimentados com combustíveis ou metais consumíveis. Células combustíveis podem ser abastecidas com hidrogênio gerando energia elétrica para acionar os motores, como é o exemplo do ônibus (Figura 2-7) desenvolvido pela EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo S.A.) que circula na região da Grande São Paulo (Castro; Ferreira, 2015). Nesta arquitetura também existem as baterias com reação entre metal e ar onde se consome pastilhas de metais recicláveis, porém esta tecnologia em desenvolvimento e sua aplicação em veículos tem apenas caráter experimental (Lowry; Larminie, 2012).

Figura 2-7: Ônibus urbano movido a hidrogênio.



Fonte: (Portal do Governo do Estado de São Paulo, 2017).

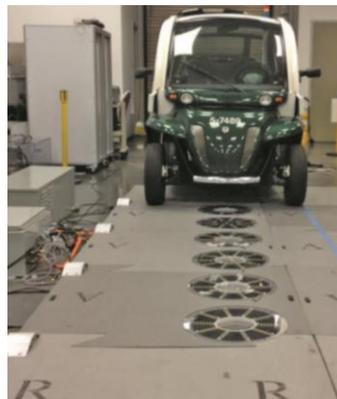
Arquiteturas utilizando vias alimentadas já são bem difundidas no mundo, um bom exemplo é o *Trólebus* (Figura 2-8) conectado por cabos suspensos (Castro; Ferreira, 2015). Entretanto existem alguns estudos que buscam uma maneira mais segura com transmissão de energia sem fio (Figura 2-9), por meio de campos eletromagnéticos em vias que poderiam alimentar transportes públicos ou até mesmo recarregar VE puros, esta solução limita-se atualmente a caminhos pré-definidos e existe apenas em caráter experimental (Miller et al., 2015).

Figura 2-8: *Trólebus* em circulação na cidade de São Paulo.



Fonte: (Eletra, 2017).

Figura 2-9: Testes com vias eletrificadas sem fio.



Fonte: (Miller et al., 2015).

Quando se trata de grande quantidade de passageiros e altas velocidades de deslocamento, encontra-se na literatura a arquitetura dos veículos movidos por motores elétricos lineares, que atingem velocidades acima de 300 km/h. Esta tecnologia tem sido difundida nas últimas décadas e existem vários veículos operacionais como é o caso do *Transrapid* Alemão que realiza um trajeto de 30 km atingindo uma velocidade de 430 km/h (Hellinger; Mnich, 2009).

Figura 2-10: *Transrapid* Alemão em Shangai.



Fonte: (Hellinger; Mnich, 2009).

Também existem arquiteturas para VE que utilizam de *flywheels* como é o exemplo do “*Parry People Mover*” criado pelo engenheiro John Parry, este trem aproveita as diversas estações de embarque para impulsionar um *flywheel* que fica no chassi, assim o veículo armazena energia para percorrer o trajeto até a próxima estação. Os supercapacitores, entretanto ainda estão em fase experimental para VE, com uma alta capacidade de descarga, sua aplicação garante um ótimo desempenho em retomadas (Lowry; Larmine, 2012).

Figura 2-11: Chassi de um *Parry People Mover*.



Fonte: (Parry People Movers, 1990).

Outra tecnologia que é muitas vezes indagada sobre a aplicação em VE, são os painéis solares fotovoltaicos, apesar de gerar uma pequena quantidade de carga essa arquitetura existe e é normalmente usada em maratonas de eficiência energética como a *World Solar Challenge*, que devido à grande superfície de células e pequena massa do veículo, podem percorrer longos trajetos apenas com a energia proveniente do sol. Conforme apresentado na Figura 2-12, esta arquitetura é atualmente limitada pela eficiência dos painéis solares e do peso dos materiais construtivos (Lowry; Larmine, 2012).

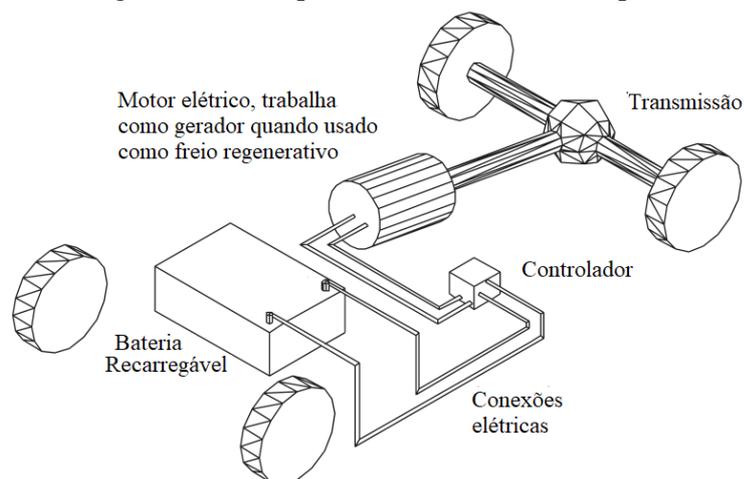
Figura 2-12: VE Principia movido a energia solar.



Fonte: (World Solar Challenge, 2015).

Por último, a arquitetura de VE a bateria convencional, possui como na Figura 2-3 baterias recarregáveis, controladores, um ou mais motores e em alguns casos sistemas de transmissão. As baterias recarregáveis têm atingido uma ótima eficiência no armazenamento de energia e possibilitado uma grande expansão neste tipo de arquitetura, atualmente estes veículos estão alcançando as mesmas potências e autonomies dos veículos de CI (Lowry; Larmin, 2012).

Figura 2-13: Arquitetura veículo elétrico puro.



Fonte: Adaptado de (Lowry; Larmin, 2012)

### 2.3. MOTORES

Um leque de motores elétricos com diferentes tecnologias é encontrado no mercado, entre o mais simples é o motor de Corrente Contínua (CC) com escovas (Figura 2-14), sendo utilizado diariamente em diversos equipamentos elétricos. Estes motores têm eficiência reduzida comparada aos sem escovas (D'AVILA, 2011).

Figura 2-14: Motores de CC típicos com e sem escovas.



Fonte: (Silveira, 2016).

Os VE mais simples são normalmente acionados com CC devido às baterias serem carregadas e descarregadas neste formato de corrente. Entretanto Asaei (2008) concluiu que os motores de indução de Corrente Alternada (CA) são mais indicados para o uso em VE que os motores de ímã permanente (CA), de relutância variável (CA) e os de CC em geral, devido às altas eficiências e ao regime de torque pela rotação.

Essa concorrência entre tecnologias de motorização não foi encerrada com o resultado de Asaei. A Tesla® em concordância com o autor, por exemplo, utiliza em todos os seus veículos motores de indução com refrigeração líquida com a justificativa de que são mais eficientes. Já a Renault® possui motores diferentes em duas linhas de veículos, o Twizy possui motor de indução, no entanto Zoe assim como o Fluence e o Kangoo possuem motor síncrono de rotor bobinado (CA) (Figura 2-15), desenvolvido pela própria fabricante (CFPELEC, 2015).

Figura 2-15: Motor Síncrono de Rotor Bobinado, modelo R240 de 65W utilizado pela Renault.



Fonte: (CFPELEC, 2015).

### 2.3.1. CONTROLADOR

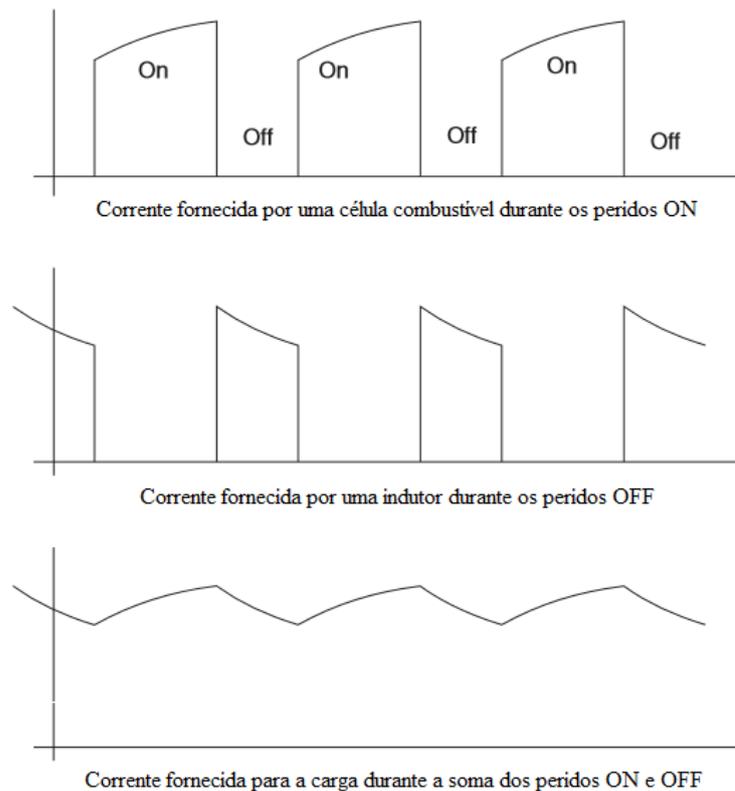
A CC que é fornecida pela bateria precisa ter o formato de onda exigido pelo motor, o controlador é responsável por realizar a conversão da corrente alterando sua frequência ou amplitude. Essa conversão é feita através de componentes eletrônicos que polarizam os campos magnéticos que produzem torque.

Os controladores são compostos por *hardware* e *software* que processam eletronicamente o ponto de funcionamento do motor à condução do veículo. Quando solicitada uma velocidade, o controlador compara as informações e comanda os comutadores para conduzir maior ou menor potência ao motor (Wu et al., 2005).

Os controladores podem ser classificados em função de CC ou CA, além do número de quadrantes normalmente dividido em dois para ambas as direções de deslocamento ou quatro quando se adiciona a função frenagem regenerativa. Os controladores em geral trabalham com chaveamentos da corrente, estes chaveamentos podem ser executados com transistores do tipo *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) mais aplicado em CC abaixo de 50 A, o *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) também bastante utilizado em motores CC ou Tiristores que pelo lento decaimento de corrente é o mais indicado para motores CA. Em geral estes transistores ou tiristores são utilizados em conjunto e comandados por um microprocessador (Lowry; Larminie, 2012).

Dentre os controladores para motores de CC disponíveis no mercado, o mais encontrado é do fabricante Curtis, muito utilizado em máquinas tracionárias como empilhadeiras. Este controlador também é recomendado para conversões de VE pois o acoplamento de um motor de alto torque na caixa de câmbio original de um VCI satisfaz a faixa de velocidade de muitos projetos DIY (EV WEST, 2017). Internamente os controladores de CC realizam o *Pulse Width Modulation* (PWM) que nada mais é, em uma tradução literal, a modulação da largura de pulso, essa modulação somada a um circuito com indutor e/ou capacitores realiza o *Step-Down* (Figura 2-16) ou *Step-Up* da corrente, assim fornecendo a potência desejada (Lowry; Larmin, 2012).

Figura 2-16: Exemplo de controlador de CC com Step-Down aplicado em circuito alimentado por célula combustível.

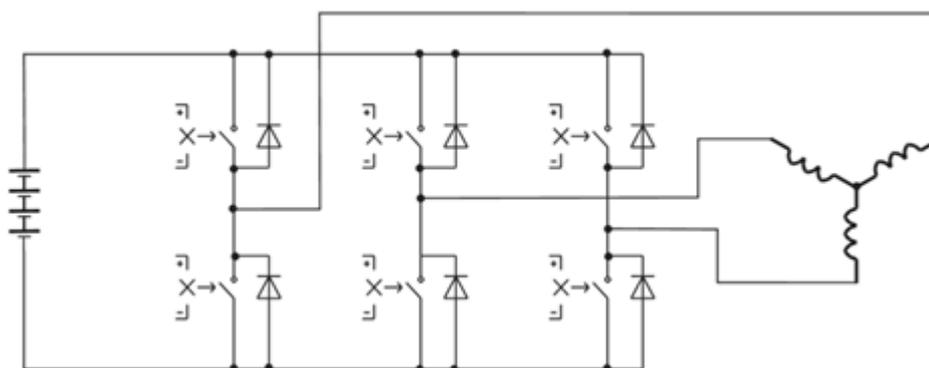


Fonte: Adaptado de (Lowry; Larmin, 2012).

Para CA um fabricante de destaque no mercado de VE é a Rinehart Motion Systems (RMS), que possui controladores com potência de pico até 1MW, fornecedora de unidades de controle para o sistema *Kinect Energy Recovery System* (KERS) da Fórmula 1 desde 2009 sem registrar falha (Rinehart Motion Systems, 2017). O circuito eletrônico utilizado

neste caso é muito similar aos inversores de frequência encontrados em indústrias, porém para VE o controlador deverá ser capaz de converter uma única fase contínua em uma ou múltiplas fases de CA, por exemplo, em um motor de indução trifásico seriam necessários um circuito (Figura 2-17) com pelo menos 6 chaveamentos. O controle da velocidade neste caso se dá pela frequência de onda fornecida pelo controlador (Lowry; Larmin, 2012).

Figura 2-17: Circuito com 6 chaveamentos, fornecendo CA trifásica.



Fonte: Adaptado de (Lowry; Larmin, 2012).

### 2.3.2. TRANSMISSÃO

Nos veículos a Combustão Interna (CI) necessita-se de um sistema de transmissão capaz de transmitir a potência do eixo para as rodas. Com os elétricos a transmissão deixou de ser necessidade, visto que os motores mais leves podem ser instalados próximos ou até mesmo no centro das rodas.

Motores elétricos também possuem uma grande amplitude na velocidade de operação, com rotações compatíveis ao deslocamento dos veículos, dispensando assim as relações de engrenagens que haviam nas caixas de transmissão. A retirada deste componente pode representar ganho de eficiência, porém no estudo de (Ren et al., 2009) quando se desconsidera a ineficiência da caixa de engrenagens pode se observar um ganho de eficiência geral. O mesmo autor demonstra um ganho na aceleração quando utilizando caixa de engrenagens.

### 2.3.3. FRENAGEM REGENERATIVA

Frenagem regenerativa, mais conhecida pelo nome de uma das tecnologias possíveis, o KERS. No entanto existem diversas tecnologias comerciais e em desenvolvimento que recuperam a energia antes desperdiçada pela fricção na frenagem.

Neste trabalho não será abordado a regeneração de energia em decidas ou frenagens. Este é um assunto mais complexo e específico, discutido por Cikanek e Bailey (2002) em um estudo de aplicação em veículos híbridos ou por Ming-Ji et al. (2009) que apenas alterando a programação do controlador conseguiu aumentar autonomia em torno de 16% numa motoneta elétrica.

## 2.4. BATERIAS

As baterias ainda hoje são os itens que mais elevam o custo de um VE, com o avanço da eletroquímica, atualmente estão disponíveis no mercado muitos tipos de baterias que substituem as pesadas, poluentes e obsoletas baterias de chumbo. Hoje dominam o mercado as baterias de lítio, devido sua eficiência, segurança de operação e reciclabilidade (Notter et al., 2010).

Baterias normalmente são tratadas como “caixas-pretas”, uma unidade pronta sem possíveis alterações, são especificadas pelos critérios de energia específica, densidade energética, potência específica, tensões nominais, carga nominal em Ah, viabilidade comercial, custo e número de ciclos (Lowry; Larminie, 2012).

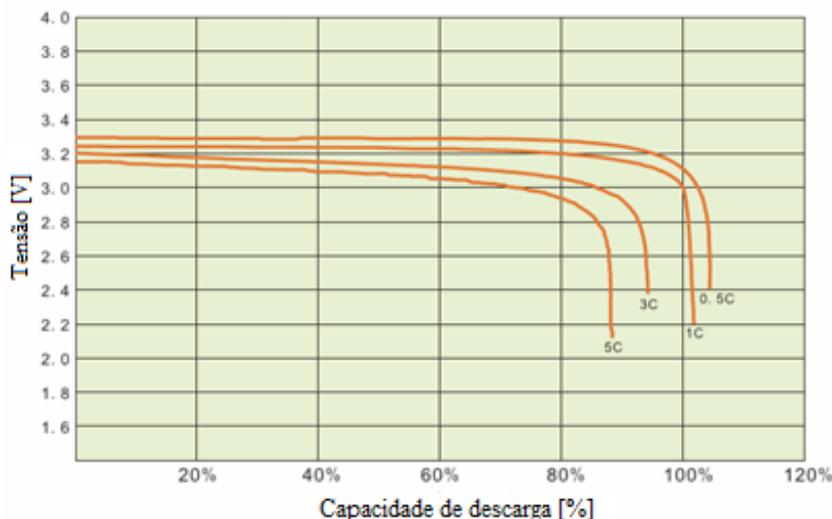
### 2.4.1. AUTONOMIA

A distância total percorrida com uma carga completa de bateria (autonomia) por um veículo elétrico sempre foi um entrave para seu mercado. As baterias comercialmente viáveis eram principalmente as de chumbo ácido, que possuíam baixíssima densidade energética e consequentemente baixa autonomia. Com o passar do tempo a tecnologia de manipulação e uso do lítio evoluiu, junto surgiram as baterias a base de lítio que atualmente dominam o mercado (Anderson, 2010).

A profundidade de descarga, do inglês *Depth of Discharge* (DoD), é uma relação entre carga utilizada sobre a carga disponível, com resultado entre 0 quando a bateria está

completamente carregada e 1 quando completamente descarregada (Lowry; Larmin, 2012). Peukert desenvolveu equações que estimam a capacidade disponível em função da corrente de descarga (Doerffel; Abu Sharkkh, 2005) sendo que é comum encontrar nos catálogos das fabricantes curvas como a apresentada na Figura 2-18 que comprovam suas equações.

Figura 2-18: Curvas de descarga da bateria V-LYP160.

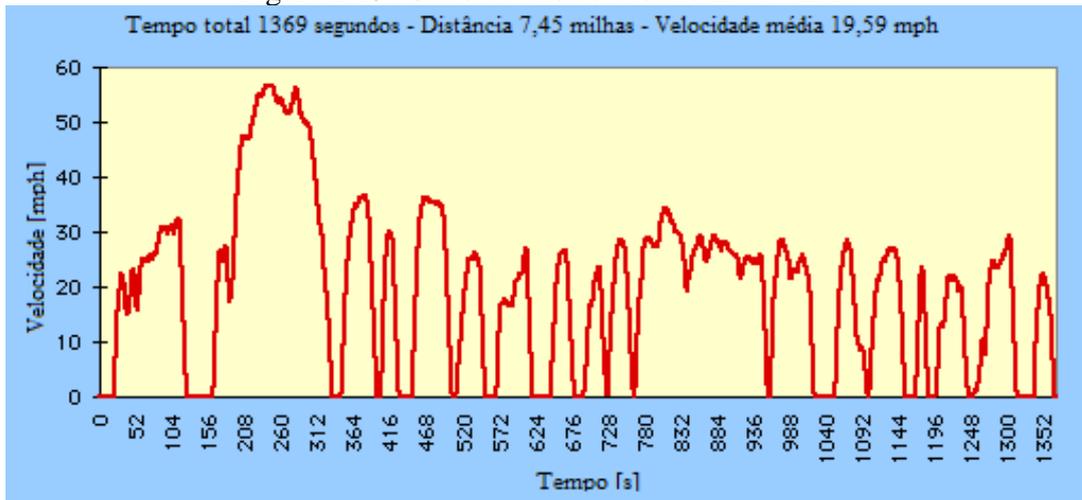


Fonte: Adaptado de (Voltronix Inc., 2017).

#### 2.4.2. CICLO DE ENSAIO

A simulação do consumo de um veículo pode ser feita de forma simples através de uma velocidade fixa ou aplicando um ciclo de ensaio construído para representar a condução real. Existem diferentes ciclos de condução desenvolvidos para diversos casos, cidades com muitos ou poucos cruzamentos, tráfegos em rodovias em velocidade de cruzeiro e pistas de competição (Lowry; Larmin, 2012). O ciclo apresentado na Figura 2-19 apresenta uma condução urbana com diversas paradas e velocidades diversas, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) este ciclo ponderado com um ciclo de ensaio para condução em rodovias é utilizado, por exemplo, pela Tesla para fornecer dados de autonomia de seus veículos (Musk; Straubel, 2012).

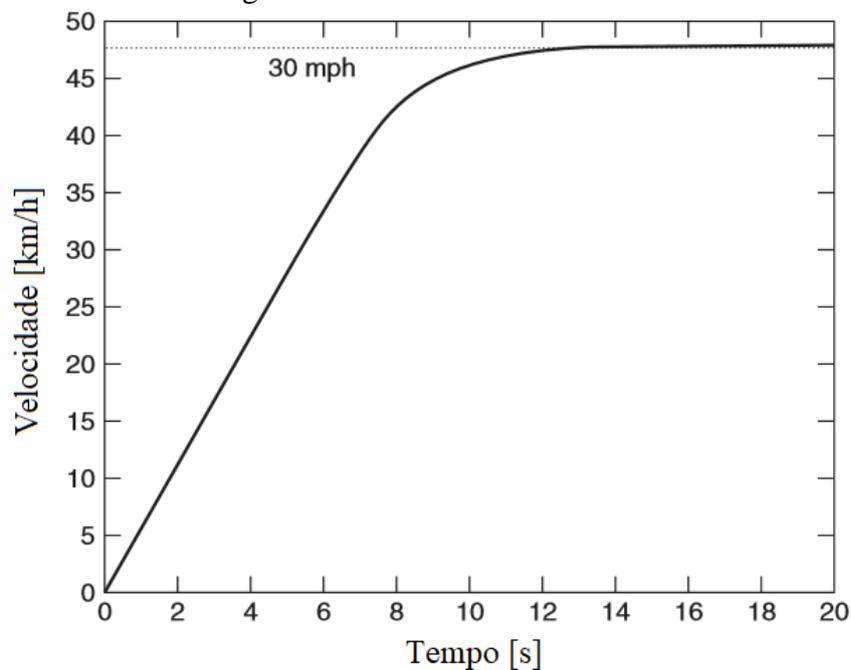
Figura 2-19: Ciclo de ensaio urbano EPA - LA4



Fonte: Adaptado de (EPA, 2017).

Um ciclo de ensaio bastante utilizado é o WOT do inglês *Wide Open Throttle*, para os veículos elétricos que não possuem a válvula de aceleração, o WOT é o ponto de energia máxima injetada no motor em relação ao deslocamento, ou seja, quando o veículo é acelerado até atingir velocidade máxima e assim se mantém (Lowry; Larminie, 2012).

Figura 2-20: Ciclo de ensaio WOT.



Fonte: Adaptado de (Lowry; Larminie, 2012).

## 2.5. COMPETIÇÕES UNIVERSITÁRIAS

Com objetivo de propiciar aos estudantes a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos e fomentar o interesse no setor de VE, existe a Fórmula SAE Brasil que é realizada em São Paulo, assim como a *Shell Eco Marathon* (SEM) que teve sua primeira etapa latino-americana no ano de 2016, além das competições internacionais que acontecem todo ano (SAE, 2017).

A etapa latino-americana de 2016 da SEM (Figura 2-21) recebeu mais de 300 estudantes, divididos em 36 equipes, o trajeto é composto por um circuito fechado com um total de 8,8 km, este circuito deve ser cumprido em menos de 21 min e o resultado final além do desenvolvimento dos estudantes é a criação de um veículo eficiente, que percorra a maior distância com o menor consumo (SHELL, 2017).

Figura 2-21: Estudantes posam junto aos seus protótipos no primeiro dia de *Shell Eco-marathon* Brasil em Cotia, SP.



Fonte: (Fridman, 2016)

Já na Fórmula SAE o objetivo é construir um veículo para competir em uma prova de enduro, em que são levados em conta a aceleração e também a eficiência. Esta competição é mais consagrada no mundo por suas primeiras edições na década de 80 nos Estados Unidos com veículos a combustão e depois a partir de 2004 no Brasil e apenas a partir de 2013 com a categoria elétrica.

Nos Estados Unidos existe também uma competição para estudantes do ensino médio, criado pela Universidade de Waterloo, o *The Electric Vehicle Challenge* recebe estudantes de todo país para uma competição similar às duas já citadas, porém com critérios de segurança

mais restritos, sendo um deles a tensão máxima de operação de 24V (University of Waterloo, 2017).

Ainda para os estudantes do ensino superior existe outra grande competição de VE, porém em duas rodas, sendo o *MotoStudent International Competition*. Nesta competição o foco continua sendo o desenvolvimento de uma equipe de trabalho (Figura 2-22) e de um veículo, neste caso de duas rodas, eficiente no consumo e eficaz no desempenho (Moto Student, 2017).

Figura 2-22: Equipe *UJI Electric Racing Team*, Categoria *MotoStudent* Elétrico.



Fonte: (Moto Student, 2017).

## 2.6. VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS

O Visual Basic é uma linguagem de programação da *Microsoft* incorporada em todos os programas do pacote *Microsoft Office*, uma poderosa ferramenta para estender os recursos que o pacote oferece. Com diversas funções, esta linguagem permite criar rotinas de tarefas (macros) e Interface Homem Máquina (IHM) até mesmo para usuários com pouca experiência em programação. Dentro do editor de *Visual Basic (VB)* existe também o Gravador de Macros que grava a ação e transforma em linhas de códigos, e ainda um gerenciamento de dicas, bibliotecas e caixa de ferramentas disponíveis para criar uma aplicação totalmente nova (Microsoft Office, 2009).

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## Capítulo 3. METODOLOGIA

---

Para elaborar a metodologia de projeto, que é o objetivo principal deste trabalho, foram realizadas buscas em livros, publicações e artigos técnicos e científicos assim como catálogos de fabricantes. Destas pesquisas foram extraídas as equações e as hipóteses que juntas a uma base de dados viabilizaram a construção da Interface Homem Máquina (IHM).

### 3.1. FORÇAS IMPLICADAS

A metodologia adotada requer considerações iniciais como massa total do veículo, seu coeficiente de arrasto ( $C_d$ ), a capacidade nominal da bateria e a curva de torque do motor. Com o intuito de instruir projetistas sem experiência na área, a ferramenta elaborada, possui uma base de dados com propostas de componentes, cabendo ao utilizador inserir maiores informações se necessário.

O método em si é iterativo, à medida que novas informações forem introduzidas os cálculos e indicações são refeitos. A primeira informação a ser equacionada é a Força de Tração ( $F_{te}$ ) (equação 4) necessária para movimentar o veículo, essa força pode ser obtida a partir do somatório de forças que agem no veículo. Esta equação é composta por Força de Atrito ( $F_{at}$ ), Força de Arrasto ( $F_d$ ), Força de Inclinação ( $F_\psi$ ) e Forças de Aceleração ( $F_a$ ).

A primeira componente (equação 1) depende do Coeficiente de Atrito ( $\mu_{at}$ ) e da força peso, com a seleção dos componentes e da quantidade de passageiros calcula-se a força peso do veículo que em um modelo simplificado é dividido igualmente entre os pneus. O coeficiente de atrito é adotado a partir da escolha do pneu, considerando suas condições normais de temperatura e pressão.

$$F_{at} = \mu_{at}mg \quad (1)$$

Para protótipos na competição SAE, a empresa Michelin disponibiliza um pneu especial (Special Michelin solar car/eco) com  $\mu_{at} = 0,0025$ , para estimativas em pneus de carros de passeio Lowry e Larminie (2012) indicam um  $\mu_{at} = 0,015$ . Estes dois valores estão assim como os outros dados estão pré-dispostos na base de dados.

Em seguida a força de arrasto aerodinâmico ( $F_d$ ) (equação 2), adotando  $1,225 \text{ kg/m}^3$  para Massa Específica do Ar ( $\rho$ ), adotando a área frontal e o Coeficiente de Arrasto ( $C_d$ ) pela escolha do design encontra-se uma equação em função da velocidade.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad (2)$$

Pré-dispostos inicialmente na base de dados, estão os dados de dois protótipos, o primeiro desenvolvido pela *Florida International University* com área frontal de  $0,73\text{m}^2$  e  $C_d=0,15$  (Cabrera et al., 2015) e o *Eco-Arrow* da equipe *Iron Warriors* que competiu na Europa com área de apenas  $0,396\text{m}^2$  e  $C_d=0,96$ . (Cieslinski et al., 2016).

A  $F_\psi$ , é a força resultante em casos de subidas ou decidas, seu cálculo é feito pela decomposição vetorial da força peso no eixo referente à inclinação. Para o desenvolvimento inicial deste trabalho, adotou-se relevo completamente plano para todos os resultados, portanto tornando nula esta componente, em casos mais específicos é possível inserir dados de inclinação do relevo a ser trabalhado assim como no trabalho de Yamagata et al. (2014).

Os últimos termos deste somatório são as Forças de Aceleração ( $F_a$ ) (equação 3), com duas componentes, a aceleração angular que é normalmente pequena em relação à aceleração linear, portanto foi feita uma simplificação adotando um acréscimo 5% na aceleração linear para corrigir a ausência deste valor. Como o próprio nome se refere para o equacionamento desta força obtém-se uma função da aceleração linear.

$$F_a = 1,05m \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

$$F_{te} = F_{at} + F_d + F_\psi + F_a \quad (4)$$

Para deslocar o veículo será necessário então que o motor elétrico forneça por meio do torque aplicado nas rodas, uma força igual ou superior a  $F_{te}$ . Já discutido na revisão teórica, na prática os motores elétricos possuem características de torque máximo do início do movimento até Velocidade Angular Crítica ( $\omega_c$ ) (equação 5) e uma queda linear após isso (equação 6).

$$T = T_{max} \quad \omega < \omega_c \quad (5)$$

$$T = T_0 - k\omega = T_0 - \frac{kG}{r}v \quad \omega \geq \omega_c \quad (6)$$

O torque fornecido pelo motor ( $T$ ) multiplicado pela relação de engrenagens e dividido pelo raio da roda resulta na força aplicada pelo motor. Quando esta força é igualada a  $F_{te}$ , tem-se uma equação diferencial de primeira ordem (equação 7) que pode ser resolvida e interpretada facilmente em simulações computacionais.

$$\frac{dv}{dt} = \left[ \frac{\left(\frac{G}{r}T\right) - (\mu_{rr}mg) - \left(\frac{1}{2}\rho AC_d v^2\right)}{1,05m} \right] \quad (7)$$

### 3.2. CONVERSÕES DE ENERGIA E AUTONOMIA

As forças aplicadas vezes a velocidade resultam na potência aplicada, a potência propriamente dita é a taxa de energia pelo tempo, as potências observadas durante o movimento do veículo possuem valores distintos quando avaliadas em diferentes equipamentos devido as eficiências na conversão de energia, da química até a de tração que efetiva o deslocamento.

Partindo da roda, a Potência de Tração ( $P_{te}$ ) (equação 8), basicamente é a taxa de energia que promove o deslocamento, essa potência se dissipa na aceleração, arrasto e atrito do veículo e resulta no deslocamento.

$$P_{te} = F_{te} \times v \quad (8)$$

Seguindo o caminho da energia, ao dividir a  $P_{te}$  pela eficiência da transmissão ( $\eta_g$ ) tem-se a Potência no Eixo do Motor ( $P_{eixo}$ ). Como discutido anteriormente, motores elétricos são normalmente acoplados diretamente na roda, portanto a  $\eta_g$  é muito próxima de 1. Quando se divide pela eficiência do motor e controladores ( $\eta_m$ ) tem-se a Potência Elétrica na entrada ( $P_{in}$ ) (equação 9) do motor, para veículos de passeio comerciais, esta eficiência está em torno de 90%.

$$P_{in} = \frac{F_{te} \times v}{\eta_m \eta_g} \quad (9)$$

Para calcular a Potência que sai da Bateria ( $P_{bat}$ ) soma-se a  $P_{in}$  com a Potência fornecida aos Acessórios ( $P_{ac}$ ), para os veículos de competição o consumo por acessórios é reduzido ou nulo, portanto adotou-se como simplificação  $P_{ac} = 0$ .

A  $P_{bat}$  também poderia ser medida pelo caminho inverso, como mostrado na equação (equação 10) pode ser calculada a partir do produto da tensão e corrente que deixam a bateria. Para calcular o Consumo Total de Carga ( $C_T$ ), integra-se a corrente que sai da bateria pelo tempo com um resultado em Ah que representa o consumo energético do veículo.

$$P_{bat} = EI_{bat} \quad (10)$$

Escolhida a bateria, sua capacidade útil ou também chamada de Capacidade de Peukert ( $C_p$ ) é proporcional a Corrente de Descarga ( $I$ ), elevada ao Coeficiente de Peukert ( $k$ ) (equação 11) multiplicado pelo Tempo de Descarga ( $t$ ), para simplificação decidiu-se adotar a carga nominal como padrão para os cálculos. Então para calcular a *Depth of Discharge* ( $DoD$ ) (equação 12) tem-se  $C_T$  sobre Carga Nominal ( $C_n$ ).

$$I^k t = C_p \quad (11)$$

$$DoD = \frac{C_T}{C_p} = \frac{C_T}{C_n} \quad (12)$$

Quando a bateria está completamente carregada o  $DoD$  é igual a 0, quando totalmente descarregada 1, ou seja, a distância total percorrida se dará quando o índice de profundidade for máximo. Como já foi discutido esta Distância Total ( $D_T$ ) denominada de autonomia é um dos principais fatores na tomada de decisões em projetos de veículos elétricos.

Para calcular o Consumo Específico ( $C_e$ ) em km/kWh, utiliza-se a equação (equação 13), sendo a relação entre a distância percorrida por cada unidade de energia fornecida pela bateria.

$$C_e = \frac{D_T}{E C_T} \quad (13)$$

### 3.3. INTERFACE HOMEM MÁQUINA

A partir das ferramentas disponíveis criou-se uma plataforma com visual intuitivo para a escolha entre os elementos pré-dispostos, assim como a possibilidade de inserção de dados a escolha do usuário. Toda a metodologia apresentada está disposta em linguagem de programação no *software* desenvolvido, XBJ VEHICLE (Figura 3-1), em plataforma *Excel VBA*®.

Figura 3-1: Tela de inicialização XBJ VEHICLE.



Fonte: Próprio autor.

A tela seguinte do programa apresenta um mecanismo de classificação que leva o usuário a pensar na aplicação do seu projeto, a título de exemplo, nesta etapa o projetista que optar pela categoria de uso pessoal, com redução de custos iniciais e ter um veículo de até cinco passageiros receberá como resultado “Carro antigo” (Figura 3-2).

A proposta desta classificação é indicar conforme a base de dados quais são as opções disponíveis, o programa também poderá indicar conexões externas. Nos casos em que o banco de dados não estiver disponível para a aplicação desejada, ou quando reconhecer em conexões uma opção mais apropriada para indicar.

Figura 3-2: Classificação do veículo indicado.

Fonte: Próprio autor.

Foram criadas três interfaces nomeadas como *design*, bateria e motor. Essa divisão foi proposta com base nas variáveis normalmente disponíveis na literatura, suficientes para tomadas de decisão e necessárias para a modelagem proposta.

A primeira interface (Figura 3-3) apresenta dados estruturais, *design* ou desenho do produto, contendo os dados aerodinâmicos, de atrito, características dimensionais, custo e atrelamento a fonte destas informações, no qual possibilita ao usuário a familiarização com valores usuais no setor.

Figura 3-3: Interface de escolha do Design.

Características			
Fonte	<a href="http://www.eng.fiu.edu/mme/robot">http://www.eng.fiu.edu/mme/robot</a>		
Massa [kg]	53,39		
Area [m <sup>2</sup> ]	0,73		
Cd (coeficiente de arrasto)	0,15		
Pneu	Special Michelin solar car/eco		
mi (Coeficiente de atrito)	0,0025	Raio	0,239
Dimensões (LxDxH) [cm]	213,36 X 60,96 X 91,44		
Preço total estimado [US\$]	3000		

Fonte: Próprio autor.

A segunda interface (Figura 3-4) apresenta as baterias e os dispositivos que armazenam a carga elétrica, onde indica a tensão nominal, carga nominal, corrente máxima admissível, o tipo e outras informações essenciais para obtenção dos resultados.

Figura 3-4: Interface de escolha da Bateria.

Características	
Tensão [V]	48
Arranjo	1
Capacidade Nominal [Ah]	12
Corrente nominal max [A]	30
Densidade específica [Ah/L]	2,93
Carga específica [Ah/kg]	2,31
Massa [kg]	5,2
Numero de ciclos	2000
Tipo	Li-ion
Custo [U\$]	408
Fonte	https://www.leafmotor.com/ev-battery.html

Fonte: Próprio autor.

A terceira interface (Figura 3-5) possibilita a escolha do motor elétrico, dispositivo que converte a energia elétrica em mecânica. As opções dispostas nesta interface são tensão, potência, torque nominal e outras informações identificadas em catálogos. Na Tabela 3-1, por exemplo, são apresentados os dados de ensaio do motor HBL 1000W (Leaf Motor, 2011), na mesma tabela são apresentadas as devidas adequações das unidades necessárias para inserção dos dados na base.

Figura 3-5: Interface de escolha do Motor.

Características	
Tensão [V]	48
Potencia [W]	1000
Tipo	Brushless hub motor
Massa [kg]	6
Torque máximo [N.m]	25
V. Angular Critica (w)[RPM]	320
$T(w) = 79,795456371 + -1,649521441 \cdot w$	[N.m]
$Eficiência(T) = 0,3278 + 0,04E \cdot T + -0,00 \cdot T^2$	[%]
Preço [\$]	168
Fonte	https://www.leafmotor.com/

Fonte: Próprio autor.

Tabela 3-1: A Esquerda: Dados de Catálogo e a Direita: Adequação de Unidades.

$T$ [mN.m]	$\omega$ [rpm]	Eficiência ( $\eta_m$ )	$\omega$ [rad/s]	$T$ [N.m]
450	451	24,08%	47,2	0,5
330	448	17,54%	46,9	0,3
190	450	9,66%	47,1	0,2
870	445	34,89%	46,6	0,9
1700	440	48,44%	46,1	1,7
3620	427	70,69%	44,7	3,6
5940	415	79,14%	43,5	5,9
8510	406	82,68%	42,5	8,5
11400	400	85,41%	41,9	11,4
14380	385	83,66%	40,3	14,4
18030	376	84,48%	39,4	18,0
21670	362	82,14%	37,9	21,7
25510	350	80,12%	36,7	25,5
29190	328	76,97%	34,3	29,2
33220	285	73,64%	29,8	33,2
36990	243	68,20%	25,4	37,0
40530	208	63,01%	21,8	40,5
44930	174	58,08%	18,2	44,9

Fonte: Próprio autor.

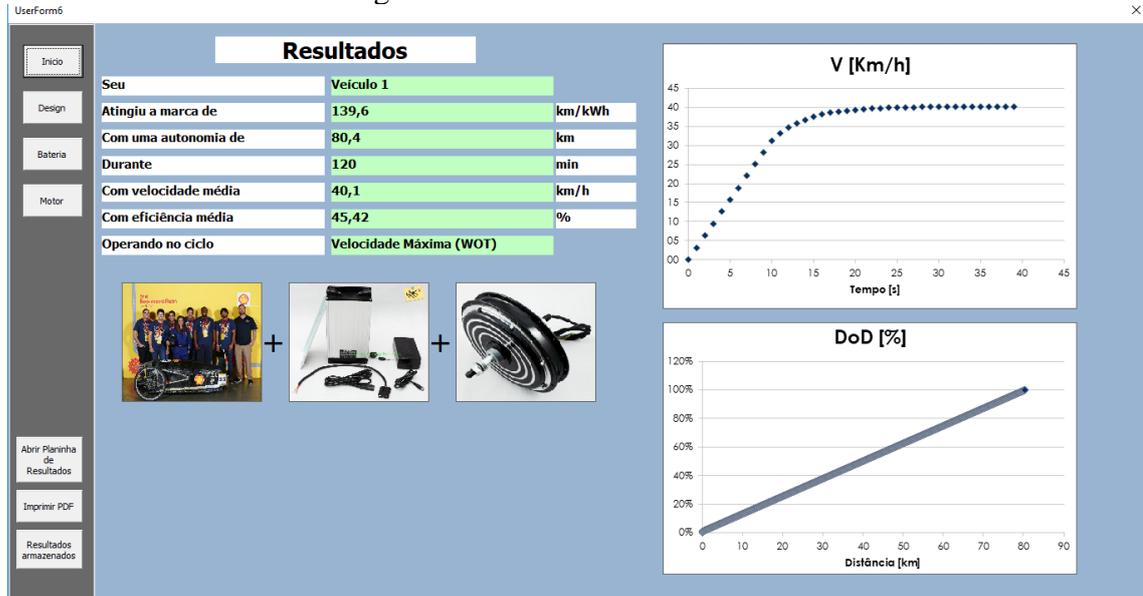
Quando encontrado dados de ensaio em laboratório disponíveis no catálogo como o apresentado na Tabela 3-1, ao inseri-los na base de dados é necessário tratamento estatístico prévio. Para esta análise foi utilizada outra ferramenta do Excel, linhas de tendência linear e polinomial, as equações que representam essas duas linhas são as equações do torque em função da velocidade angular (equação 14) e da eficiência em função do torque (equação 15), com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) iguais à 0,95 e 0,73 respectivamente.

$$T = -1,6495\omega + 79,795 \quad (14)$$

$$\eta_m = - (T^2 \cdot 0,001) + T \cdot 0,0482 + 0,3278 \quad (15)$$

Quando avançadas as três interfaces, o *software* solicita um nome para o veículo, então a rotina lógica adiciona os valores das variáveis e ocupa-se de processar as respostas esperadas. Em alguns instantes exibe os resultados em uma nova interface (Figura 3-6) que pode ser exportada para um relatório em formato “.pdf“ com as informações de cada componente.

Figura 3-6: Interface de Resultados.



Fonte: Próprio autor.

A rotina trabalha em intervalos de tempo, calcula a aceleração em períodos discretos, a partir do somatório dos resultados constrói o percurso durante todo o ensaio. Em uma planilha são armazenados a cada intervalo, todos os dados calculados. Portanto caso o usuário deseje visualizar valores de potências, torque, rotação ou eficiência poderá acessar esta planilha cujo os dados são apresentados a exemplo da Tabela 3-2.

Tabela 3-2: Primeiros 15 segundos de ensaio na Planilha “ResultadosFinais”.

Tempo [s]	V [Km/h]	W [RPM]	W [Rad/s]	T [N.m]	P (T*w) [W]	Pte (Tração) [W]	Eficiência [%]	Pin (P/eficiência) [W]	Consumo total [Ah]	DoD [%]	Distancia Percorrida [Km]	Distancia p/ gráfico de velocidade [m]
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00%	0,0	0,000	0,00%	0,000	0,0
1	3,2	35,1	3,7	73,7	271,1	105,4	32,78%	827,0	0,005	0,04%	0,001	0,9
2	6,3	70,2	7,4	67,7	497,5	211,0	32,78%	1517,7	0,014	0,11%	0,003	2,6
3	9,5	105,2	11,0	61,6	679,1	316,4	32,78%	2071,6	0,026	0,21%	0,005	5,3
4	12,6	140,2	14,7	55,6	816,0	421,8	32,78%	2489,2	0,040	0,33%	0,009	8,8
5	15,8	175,0	18,3	49,6	908,4	526,7	32,78%	2771,2	0,056	0,47%	0,013	13,2
6	18,9	209,7	22,0	43,6	956,8	631,2	52,93%	1807,6	0,066	0,55%	0,018	18,4
7	22,0	244,2	25,6	37,6	961,9	735,1	72,58%	1325,2	0,074	0,62%	0,025	24,5
8	25,1	278,4	29,2	31,7	924,3	838,1	85,08%	1086,4	0,080	0,67%	0,031	31,5
9	28,1	312,4	32,7	25,8	845,1	940,3	90,56%	933,2	0,086	0,72%	0,039	39,3
10	31,2	346,1	36,2	20,0	725,3	1041,4	89,19%	813,2	0,091	0,75%	0,048	48,0
11	33,2	368,8	38,6	16,1	621,4	779,3	84,44%	735,8	0,095	0,79%	0,057	57,2
12	34,8	386,4	40,5	13,1	528,1	656,4	78,65%	671,4	0,099	0,82%	0,067	66,9
13	36,0	400,0	41,9	10,7	448,3	551,2	72,91%	614,8	0,102	0,85%	0,077	76,9
14	37,0	410,5	43,0	8,9	382,0	463,7	67,72%	564,2	0,105	0,88%	0,087	87,2
15	37,7	418,6	43,8	7,5	328,1	392,6	63,26%	518,7	0,108	0,90%	0,098	97,6

Fonte Próprio autor.

Os resultados exportados como relatório do programa estão divididos em duas páginas, na primeira são apresentados em um bloco (Figura 3-7) o consumo específico, a autonomia, o tempo de ensaio, a velocidade média, a eficiência média e o ciclo de ensaio. Em sequência ainda na primeira página (Anexo A) são apresentados três blocos com as escolhas feitas em cada interface. Nota-se que o programa trabalha com o ciclo de ensaio personalizado de velocidade máxima (WOT), a condução do veículo neste ciclo é composta pela aceleração da estagnação à velocidade máxima, então conserva a velocidade até o fim da carga.

Figura 3-7: Bloco de Resultados.

<b>Resultados</b>		
<b>Seu</b>	<b>Resultado 1</b>	
<b>Atingiu a marca de</b>	<b>139,6</b>	<b>km/kWh</b>
<b>Com uma autonomia de</b>	<b>80,4</b>	<b>km</b>
<b>Durante</b>	<b>120</b>	<b>min</b>
<b>Com velocidade média</b>	<b>40,1</b>	<b>km/h</b>
<b>Com eficiência média</b>	<b>45,42</b>	<b>%</b>
<b>Operando no ciclo</b>	<b>Velocidade Máxima (WOT)</b>	

Fonte: Próprio autor.

Em seguida na segunda página do relatório (Anexo A) exportado são exibidos os resultados gráficos da velocidade máxima pelo tempo, e a *DoD* pela distância percorrida.

## Capítulo 4. RESULTADOS

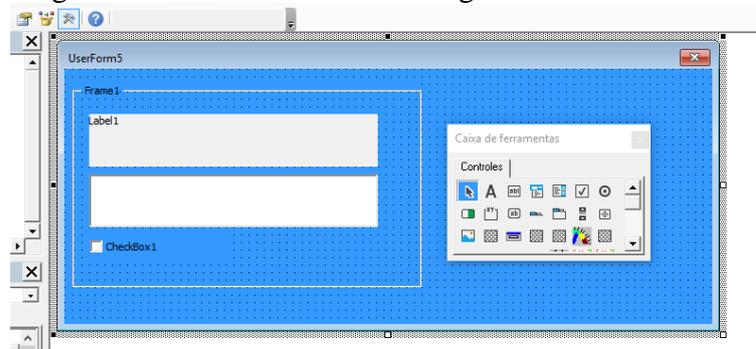
---

Neste capítulo são apresentados os resultados da interface final do *software* e resultados das simulações, onde o conteúdo apresentado possibilita ao acadêmico ou o engenheiro um contato simplificado aos veículos elétricos (VE) e seu projeto.

### 4.1. INTERFACE HOMEM MÁQUINA (IHM)

Durante o desenvolvimento da IHM, encontrou-se facilidade no aprendizado da linguagem de programação devido às ferramentas gráficas (Figura 4-1) que a plataforma VBA permite trabalhar, portanto a construção de uma interface amigável foi atingida. A construção de uma IHM no VBA começa com os formulários, estrutura gráfica onde são dispostos os controles da caixa de ferramentas, como apresentado na Figura 4-1, estes controles por sua vez são elementos visuais como caixas de texto, barras de rolagem, janelas de seleção entre outros que depois de inseridos no formulário, são adicionados como objetos com ação programável.

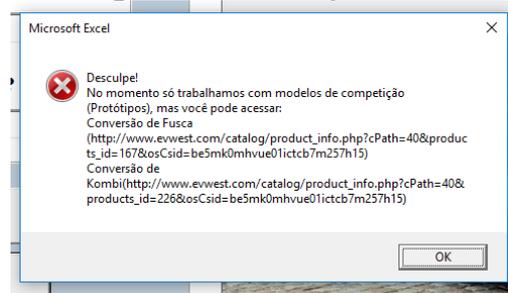
Figura 4-1: Caixa de ferramentas gráficas EXCEL VBA.



Fonte: Próprio autor.

O desenvolvimento da plataforma de classificação foi satisfatório, porém sem uma consulta pública qualitativa não é possível determinar a sua eficiência em determinar a melhor escolha para o usuário. Além de que essa janela fomenta a necessidade de um banco de dados muito maior, pois quando direcionado a uma classificação é esperado o avanço para o dimensionamento deste tipo de veículo. Neste caso apenas é apresentado às sugestões externas para esta categoria (Figura 4-2).

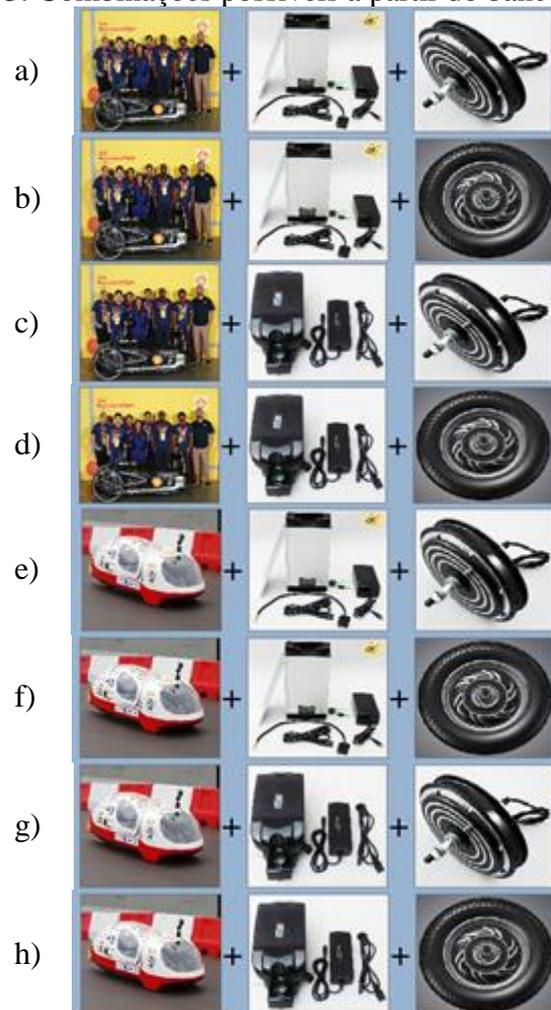
Figura 4-2: Sugestão de VE disponíveis no mercado.



Fonte: Próprio autor.

Quanto as interfaces de escolha, o resultado esperado também foi atingido, com pelo menos duas opções de cada componente pré-definidas foi possível criar uma lista com 8 combinações diferentes (Figura 4-3) para veículos na categoria competição, com seus resultados apresentado no Anexo A.

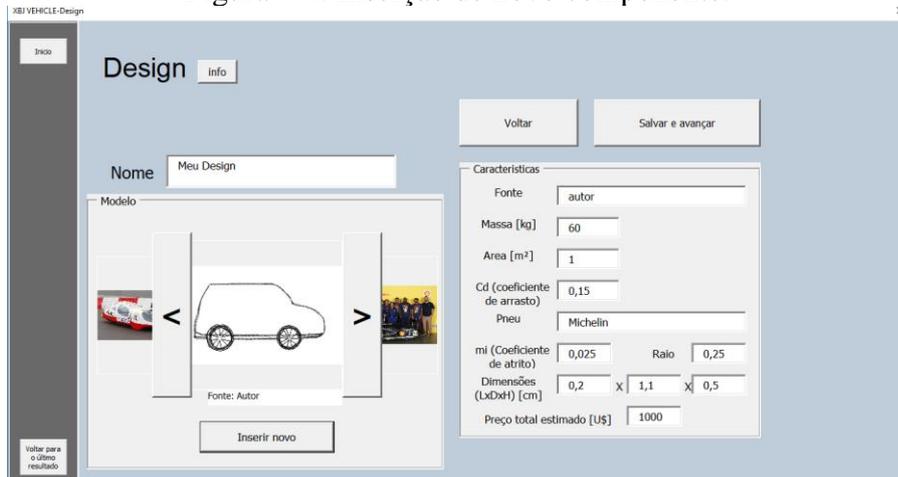
Figura 4-3: Combinações possíveis a partir do banco de dados.



Fonte: Próprio autor.

Em todas as interfaces de seleção de componente também existe a possibilidade de inserir novo componente (Figura 4-4) ou alterar componente existente, dessa forma o a IHM possibilita que o número de combinações dependa apenas dos dados que o projetista possui.

Figura 4-4: Inserção de novo componente.



Fonte: Próprio autor.

## 4.2. ESTUDO DE CASO

Visando colaborar com uma futura equipe da universidade, que dispute a *Shell Eco Marathon Americas* (SEMA), o estudo de caso procura atender todos os requisitos da competição (Tabela 4-1). Tais como baterias de lítio, aumento de eficiência, velocidade limitante mínima e autonomia para percorrer o circuito.

Tabela 4-1: Requisitos *Shell Eco-Marathon Americas* 2016.

<b>Requisitos mínimos</b>	
Velocidade mínima	25 [km/h]
Trajeto	8,8 [km]
Tempo máximo	21 [min]
Tipo de baterias	Lítio
Tensão máxima	60 [V]
Número máximo de motores	2
Altura máxima	100 [cm]
Largura máxima	130 [cm]
Comprimento máximo	350 [cm]
Peso máximo do veículo sem piloto	140 [kg]

Fonte: Adaptado de (SHELL, 2017).

Para projetar o veículo, foi escolhida a categoria competição, com 1 passageiro e preferência por autonomia. O *design* “*Iron Eco Warriors 2015*” tem as melhores características aerodinâmicas, porém a falta de informações sobre as dimensões abre a possibilidade de exclusão caso ultrapasse os requisitos da competição, por este motivo o *design* escolhido foi o “*FIU Shell Eco Marathon 2015*” (Figura 4-5). Ainda sobre este modelo, é o único com custo definido e a equipe deve também trabalhar para tornar o projeto viável economicamente, sendo interessante na tomada de decisão, possuir um orçamento inicial.

Figura 4-5: Características do *design* escolhido.

Características	
Fonte	<a href="http://www.eng.fiu.edu/mme/robot">http://www.eng.fiu.edu/mme/robot</a>
Massa [kg]	53,39
Area [m <sup>2</sup> ]	0,73
Cd (coeficiente de arrasto)	0,15
Pneu	Special Michelin solar car/eco
mi (Coeficiente de atrito)	0,0025
Raio	0,239
Dimensões (LxDxH) [cm]	213,36 x 60,96 x 91,44
Preço total estimado [US\$]	3000

Fonte: Próprio autor.

A bateria escolhida (Figura 4-6) foi a “*High Speed Pack*” a base de lítio, pois com um conjunto de apenas 5,2 kg, fornece 48V e 12Ah, além do custo e volume serem inferiores a “*Frog Pack*”.

Figura 4-6: Características da bateria escolhida.

Características	
Tensão	48 ▾ Arranjo 1 = 48 V
Capacidade Nominal [Ah]	12
Corrente nominal max [A]	30
Densidade especifica [Ah/L]	2,93
Carga especifica [Ah/kg]	2,31
Massa [kg]	5,2
Numero de ciclos	2000
Tipo	Li-ion
Custo [US\$]	408
Fonte	<a href="https://www.leafmotor.com/ev-battery.html">https://www.leafmotor.com/ev-battery.html</a>

Fonte: Próprio autor.

O motor escolhido (Figura 4-7) foi o HBL 48V 1000W, quanto a esta escolha, foram realizados dois testes (Anexo A), a partir da comparação entre os resultados apresentados na Tabela 4-2 foi possível afirmar que o motor BLW-16b desenvolve uma velocidade maior, entretanto como o objetivo da competição é eficiência no consumo energético, o motor mais indicado é o HBL.

Figura 4-7: Escolha do motor.

Características	
Tensão [V]	48
Potencia [W]	1000
Tipo	Brushless hub motor
Massa [kg]	6
Torque máximo [N.m]	25
V. Angular Critica (w)[RPM]	320
$T(w) =$	$79,79545637 \cdot w + -1,649521441 \cdot w^2$ [N.m]
Eficiência(T)=	$0,3278 + 0,048 \cdot T + -0,00 \cdot T^2$ [%]
Preço [\$]	168
Fonte	<a href="https://www.leafmotor.com/">https://www.leafmotor.com/</a>

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4-2: Comparativo entre resultados utilizando diferentes motores em ensaio de Velocidade Máxima (WOT)

	Motor HBL	Motor BLW-16b
Consumo	139,6 [km/kWh]	83,6 [km/kWh]
Autonomia	80,4 [km]	48,2 [km]
Tempo	120 [min]	50 [min]
Velocidade Média	40,1 [km/h]	58,3 [km/h]
Eficiência Média	45,42 [%]	50,52 [%]

Fonte: Próprio autor.

Sobre o resultado obtido, vale ressaltar que a escolha da bateria apresentou uma boa autonomia para o veículo, ~80 km, porém muito acima da necessária para a competição 8,8 km, sendo assim essa bateria deve ser repensada. A sugestão seria utilizar outra bateria a partir de um arranjo com células de lítio, isso iria reduzir o peso do carro aumentando a eficiência e talvez a velocidade final.

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## Capítulo 5. CONCLUSÃO

---

Esta monografia apresentou uma metodologia simplificada para projeto de Veículos Elétricos (VE), através da literatura pode-se criar um modelo matemático e um índice de variáveis necessárias para um projeto básico de VE, a criação de uma Interface Homem Máquina (IHM) contribuiu com a aproximação do conteúdo ao usuário leigo.

O protótipo e as respostas obtidas no estudo de caso podem nortear o desenvolvimento de uma equipe para competir na *Shell Eco Marathon* (SEM) e colocar na prática o conteúdo discutido, conseqüentemente promover a cultura dos VE na Universidade e região da Grande Dourados.

A metodologia simplificada e em português tem grande valor, pois se comprovou na literatura a carência de produção nacional e a importância da divulgação científica no tema de VE. No Brasil o mercado de VE ainda é baixo, porém no cenário internacional o mercado está aquecido e aponta uma tendência de crescimento que alcançará também o Brasil, reforçando o desenvolvimento de corpo técnico nacional para trabalhar no setor.

### 5.1. TRABALHOS FUTUROS

O software construído atende as necessidades propostas e o estudo de caso aplicado, porém seu desenvolvimento requer trabalho contínuo na expansão da base de dados (modelos de *design*, baterias e motores para veículos de todos os portes), inserindo outros ciclos de ensaio, adicionando interfaces específicas para detalhamento mecânico e a eletrônica embarcada.

Cabe também a proposta de estudar outras arquiteturas, tais como híbridos, vias eletrificadas e outros, desenvolvendo também metodologia de projeto para estas. Em caso de similaridades entre elas realizar uma compilação para projetos de VE em qualquer arquitetura.

Um estudo sobre a influência da matriz energética nos impactos ambientais dos VE, analisando por fonte geradora de energia elétrica.

Em uma longa projeção, é indicado também o desenvolvimento de uma ferramenta lúdica para levar este conteúdo ao público geral, em especial para educação básica, podendo ser criado um jogo que simule o desempenho do veículo.

[ESTA PAGINA FOI DEIXADA EM BRANCO INTENSIONALMENTE]

## REFERÊNCIAS

---

- ALVEZ DE ALMEIDA, H. J. **Análise comparativa de veículos elétricos e veículos com motores de combustão interna**. Tese (Mestrado). Belo Horizonte, MG, Brasil, 2014.
- ANDERSON, C. D. **Electric and hybrid cars : a history** . Jeferson, North Carolina : McFarland & Company, Inc., Publishers, 2010.
- ARAÚJO, R. M. **Metodologia De Projeto De Produto E Seleção De Material Aplicada Ao Sistema De Direção Do Veículo Sparta VE UFRJ** . (Monografia). Rio de Janeiro: UFRJ. Agosto de 2013.
- ASAEI, N. H. Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles. **ICEM International Conference on Electrical Machines**, 2008.
- CABRERA, R.; FRANCISQUE, C.; SYNALOVSKI, L. **Shell Eco-Marathon: Electric Car Prototype**. Department of Mechanical and Materials Engineering-Florida International University, Florida, USA, Abril 2015.
- CASTRO, B. H.; FERREIRA, T. T. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial 32, 2015, p. 267-310.
- CFPELEC. **GMP : Motorisation électrique et onduleur**. 2015. Disponível em “<https://www.expert-ve.fr/moteur-onduleur-ve.html>”. Acesso em 15 de Julho de 2017.
- CIESLINSKI, A.; PRYM, W.; STAJUDA, M.; WITKOWSKI, D. Investigation on Aerodynamics of Super-Effective Car for Drag Reduction. **Mechanics and Mechanical Engineering**, Vol. 20, No. 3, 2016, p. 295–308.
- CIKANEK, S.E; BAILEY, K. Regenerative braking system for a hybrid electric vehicle. **American Control Conference**. Anchorage, AK, USA: IEEE 2002, p. 3129 - 3134.
- D’AVILA, C. E. Estudo de um motor CC brushless aplicado no acionamento de um carro elétrico de pequeno porte . **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, 2011, p. 107-206.
- DANET, Y. **Simulation EDUCECO NOGARO**, Fevereiro de 2012 Disponível em “<http://www.educeco.net/spip.php?article330>”. Acesso em 10 de Julho de 2017.
- DOERFFEL, D.; ABU SHARKKH, D. A critical review of using the peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, Junho de 2005, p. 395-400.
- EPA. Ciclos de ensaio definidos empiricamente. **EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS)**. United States Environmental Protection Agency, 2017.

- EV WEST. **Catálogo de Produtos**. Disponível em “<http://www.evwest.com>”. Acesso em 06 de Julho de 2017
- FRIDMAN, P. **Cars and students line up for the family portrait during one of the Shell Eco-marathon**. Shell Eco-marathon. São Paulo, Brasil, Novembro de 2016.
- HELMS, H.; PEHNT, M.; LAMBRECHT, U.; LIEBICH, A. Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions. **18th International Symposium Transport and Air Pollution**, 2010, p. 11.
- HELLINGER, R.E.; MNICH, P. Linear Motor-Powered Transportation: History, Present Status, and Future Outlook. **Proceedings of the IEEE** , Novembro de 2009, p. 1892-1900.
- HPEVS. **Electric Motors**, 2017. Disponível em “<http://hpevs.com/index.htm>”. Acesso em 05 de Agosto de 2017.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook**. Paris: OECD/IEA. 2017.
- ITAIPU BINACIONAL. **Veículos elétricos**. 2017. Disponível em “<https://www.itaipu.gov.br/tecnologia/veiculos-eletricos>”. Acesso em 25 de Agosto de 2017.
- JUDA, Z. Advanced Batteries And Supercapacitors For Electric Vehicle Propulsion Systems With Kinetic Energy Recovery . **Journal of KONES Powertrain and Transport**, No. 4 de Vol 18 de 2011, p. 7.
- LA FRANCE PITTORESQUE. **29 avril 1899 : La Jamais contente franchit les 100km/h et établit un nouveau record de vitesse**, 2016. Disponível em “<http://www.france-pittoresque.com>”. Acesso em 01 de Agosto de 2017.
- LEAF MOTOR. **Electric Hub Motor**, 2011. Disponível em “HBL: <http://www.leafmotor.com>”. Acesso em 01 de Agosto de 2017.
- LOWRY, J.; LARMINE, J. **ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED**. Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2012.
- MICROSOFT OFFICE. **Getting Started with VBA in Office 2010**. Disponível em “<https://msdn.microsoft.com>”. Acesso em 19 de Julho de 2017.
- MILLER, J. M.; JONES, P.; LI, J.-M.; ONAR, O. C. ORNL Experience and Challenges Facing Dynamic Wireless Power Charging of EV’s. **IEEE Circuits And Systems Magazine**, 2015, p. 40-53.

- MING-JI, Y.; HONG-LIN, J.; BIN-YEN, M.; KUO-KAI, S. A Cost-Effective Method of Electric Brake With Energy Regeneration for Electric Vehicles. **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS**, Julho de 2009, p. 2203-2212.
- MOTO STUDENT. **V MotoStudent International Competition**. Disponível em “<http://www.motostudent.com>”. Acesso em 17 de Julho de 2017.
- MUSK, E.; STRAUBEL, J. **Model S Efficiency and Range**. Maio de 2012. Disponível em “<https://www.tesla.com/blog>”. Acesso em 08 de Agosto de 2017.
- NARASIMHA RAO, K. V.; KRISHNA KUMAR, R.; BOHARA, P. C. A sensitivity analysis of design attributes and operating conditions on tyre operating temperatures and rolling resistance using finite element analysis. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, Janeiro de 2006, p. 501-517.
- US NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **ADVISOR Advanced Vehicle Simulator**. Março de 2003. Disponível em “<http://adv-vehicle-sim.sourceforge.net/>”. Acesso em 03 de Julho de 2017.
- NICOLAY, S. A simplified LCA for automotive sector- comparison of (diesel and petrol), electric and hybrid vehicles. **LCA Case Studies Syposium SETAC-Europe**, 2000, (p. 5).
- NISSAN. **Aliança Renault-Nissan tem crescimento significativo em 2016 e aumenta vendas de veículos elétricos**, 2017. Disponível em “<http://nissannews.com>”. Acesso em 29 de Julho de 2017.
- NOTTER, D. A.; GAUCH, M.; WIDMER, R.W. P.; STAMP, A.; ZAH, R.; HANS-JORG. Contribution of Li-Ion Batteries to. **Environmental Science & Technology**, V.44, 2010.
- PARRY PEOPLE MOVERS. **Technology**, 1990. Disponível em “<http://www.parrypeplemovers.com/>”. Acesso em 07 de Agosto de 2017.
- PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **SP tem primeira frota de ônibus a hidrogênio do país**. Junho de 2015. Disponível em “<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias>”. Acesso em 07 de Agosto de 2017.
- PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ônibus a Hidrogênio**. 2017. Disponível em “<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu>”. Acesso em 07 de Agosto de 2017.
- RASKIN, A.; SHAH, S. **The Emergence of Hybrid Vehicles**. Nova Iorque: Alliance Bernstein, 2006.
- REN, Q.; CROLLA, D. E. ; MORRIS, A. Effect of Transmission Design on Electric Vehicle (EV) Performance. **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, 2009, p. 1260-1265.

- RICHARDS, G. **As German giants join Formula E, is the future electric for motor racing?**. Agosto de 2017. Disponível em “<https://www.theguardian.com/sport>”. Acesso em 25 de Agosto de 2017.
- RINEHART MOTION SYSTEMS. **Home page**, 2017. Disponível em “<http://www.rinehartmotion.com>”. Acesso em 08 de Agosto de 2017.
- SAE. **Fórmula SAE BRASIL**, 2017. Disponível “<http://portal.saebrasil.org.br>”. Acesso em 03 de Julho de 2017.
- SHELL. **Shell Eco-marathon Brasil**, 2017. Disponível em “<http://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/ecomarathon>”. Acesso em 03 de Julho de 2017.
- SILVEIRA, C. B. **Motor CC: Saiba como Funciona e de que forma Especificar**, 2016. Disponível em “<https://www.citisystems.com.br/motor-cc>”. Acesso em 07 de Agosto de 2017.
- TOYOTA. **Catálogo PRIUS**, 2017. Disponível em “[www.toyota.com.br/prius](http://www.toyota.com.br/prius)”. Acesso em 26 de Julho de 2017.
- UNIVERSITY OF WATERLOO. **About us**, 2017. Disponível em “<https://uwaterloo.ca/electric-vehicle-challenge>”. Acesso em 03 de Julho de 2017.
- VOLTRONIX INC. Model # V-LYP160Ah. **Charge & Discharge Chart**. California, 2017.
- WORLD SOLAR CHALLENGE. **Team Hero Shots**, 2015. Disponível em “<https://www.worldsolarchallenge.org>”. Acesso em 07 de Agosto de 2017.
- WU, H.-X.; CHENG, S.-K.; CUI, S.-M.. A controller of brushless DC motor for electric vehicle. **IEEE Transactions on Magnetics**, 2005, p. 509-513.
- YAMAGATA, S.; ODA, Y.; TANAI, M.; SUNG, K. An Electric Vehicle Project for ECO-RUN Race. **IEEE International Power Electronics Conference**, 2014, (p. 6).

## ANEXOS

Figura A-1: Pagina 1, Relatório 1.

Resultados		
Seu	Resultado 1	
Atingiu a marca de	139,6	km/kWh
Com uma autonomia de	80,4	km
Durante	120	min
Com velocidade média	40,1	km/h
Com eficiência média	45,42	%
Operando no ciclo	Velocidade Máxima (WOT)	

	Nome	FIU Shell Eco Marathon
	Pneu	Special Michelin solar
	Area [m <sup>2</sup> ]	0,73
	Massa [kg]	53,39 + 68 (passageiros)
	Dim (LxDxH) [cm]	213,36X60,96X91,44
	Custo [U\$]	3000
	mi	0,0025
	Cd	0,15
	Raio pneu [m]	0,239
	Fonte	<a href="http://www.eng.fiu.edu">http://www.eng.fiu.edu</a>

	Nome	High Speed Pack 48
	Tensão [V]	48
	Numero de ciclos	2000
	Massa [Kg]	5,2
	Dim (LxDxH)[cm]	213,36 X 60,96 X 91,44
	Capacidade [Ah]	12
	C. Especifica [Ah/l]	2,31
	Densidade E [Ah/Kg]	2,93
	Fonte	<a href="https://www.leafmotor.">https://www.leafmotor.</a>
	Custo [U\$]	408

	Nome	HBL 48V 1000W
	Tensão [V]	48
	Potência [W]	1000
	Massa [Kg]	6
	Custo [U\$]	168
	Rotação Nominal [RPM]	320
	Torque [N.m]	25
	Fonte	<a href="https://www.leafmo">https://www.leafmo</a>

Figura A-2: Pagina 2, Relatório 1.

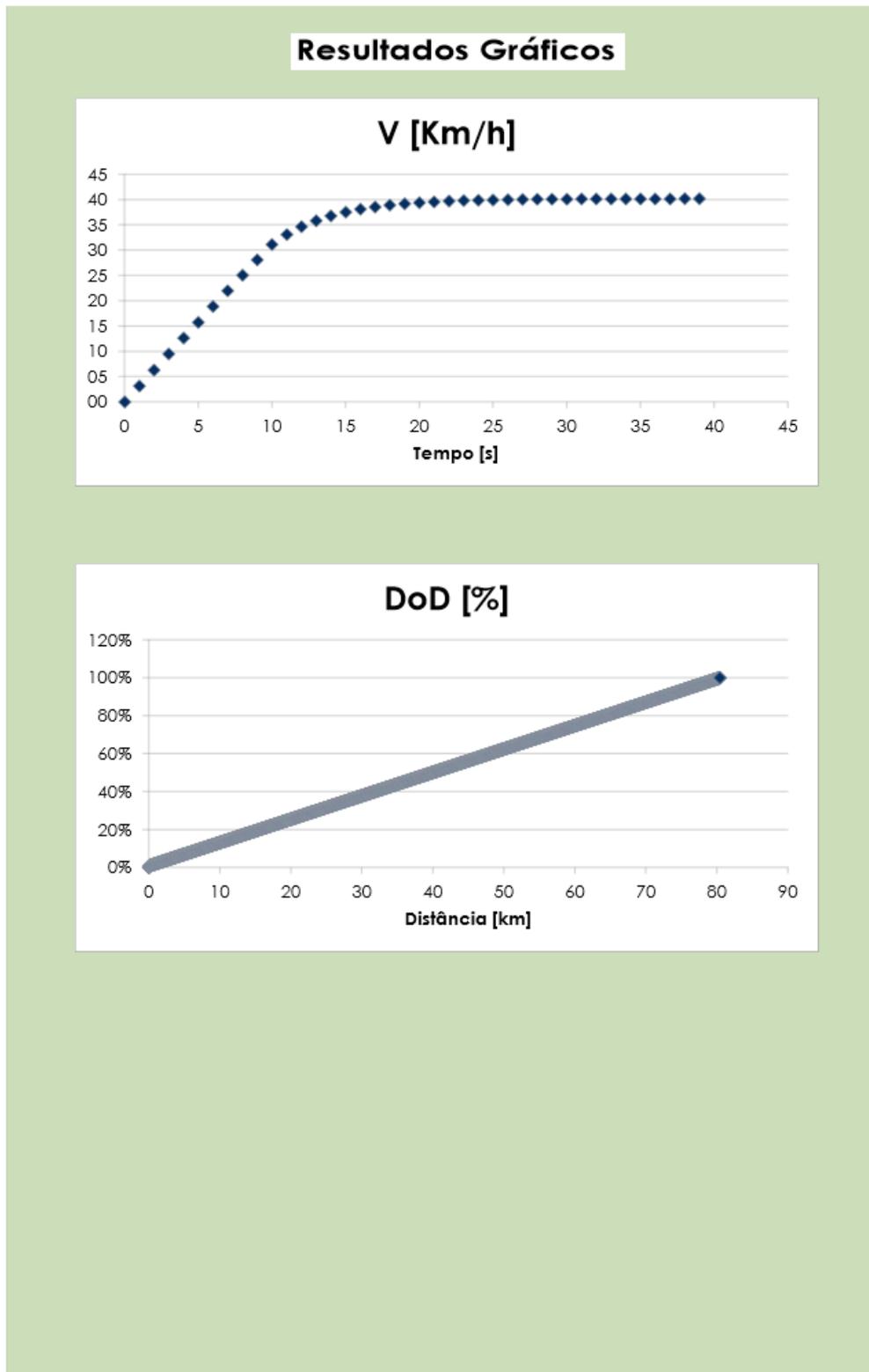


Figura A-3: Pagina 1, Relatório 2.

Resultados		
Seu	Resultado 2	
Atingiu a marca de	83,6	km/kWh
Com uma autonomia de	48,2	km
Durante	50	min
Com velocidade média	58,3	km/h
Com eficiência média	50,52	%
Operando no ciclo	Velocidade Máxima (WOT)	

	Nome	FIU Shell Eco Marathon
	Pneu	Special Michelin solar
	Area [m²]	0,73
	Massa [kg]	53,39 + 68 (passageiros)
	Dim (LxDxH) [cm]	213,36X60,96X91,44
	Custo [U\$]	3000
	mi	0,0025
	Cd	0,15
	Raio pneu [m]	0,239
	Fonte	<a href="http://www.eng.fiu.edu">http://www.eng.fiu.edu</a>

	Nome	High Speed Pack 48
	Tensão [V]	48
	Numero de ciclos	2000
	Massa [Kg]	5,2
	Dim (LxDxH)[cm]	213,36 X 60,96 X 91,44
	Capacidade [Ah]	12
	C. Especifica [Ah/l]	2,31
	Densidade E [Ah/Kg]	2,93
	Fonte	<a href="https://www.leafmotor.">https://www.leafmotor.</a>
	Custo [U\$]	408

	Nome	BLW-16b 48V 1000W
	Tensão [V]	48
	Potência [W]	1000
	Massa [Kg]	12
	Custo [U\$]	328
	Rotação Nominal [RPM]	480
	Torque [N.m]	20,5
	Fonte	<a href="https://www.leafmo">https://www.leafmo</a>

Figura A-4: Pagina 2, Relatório 2.

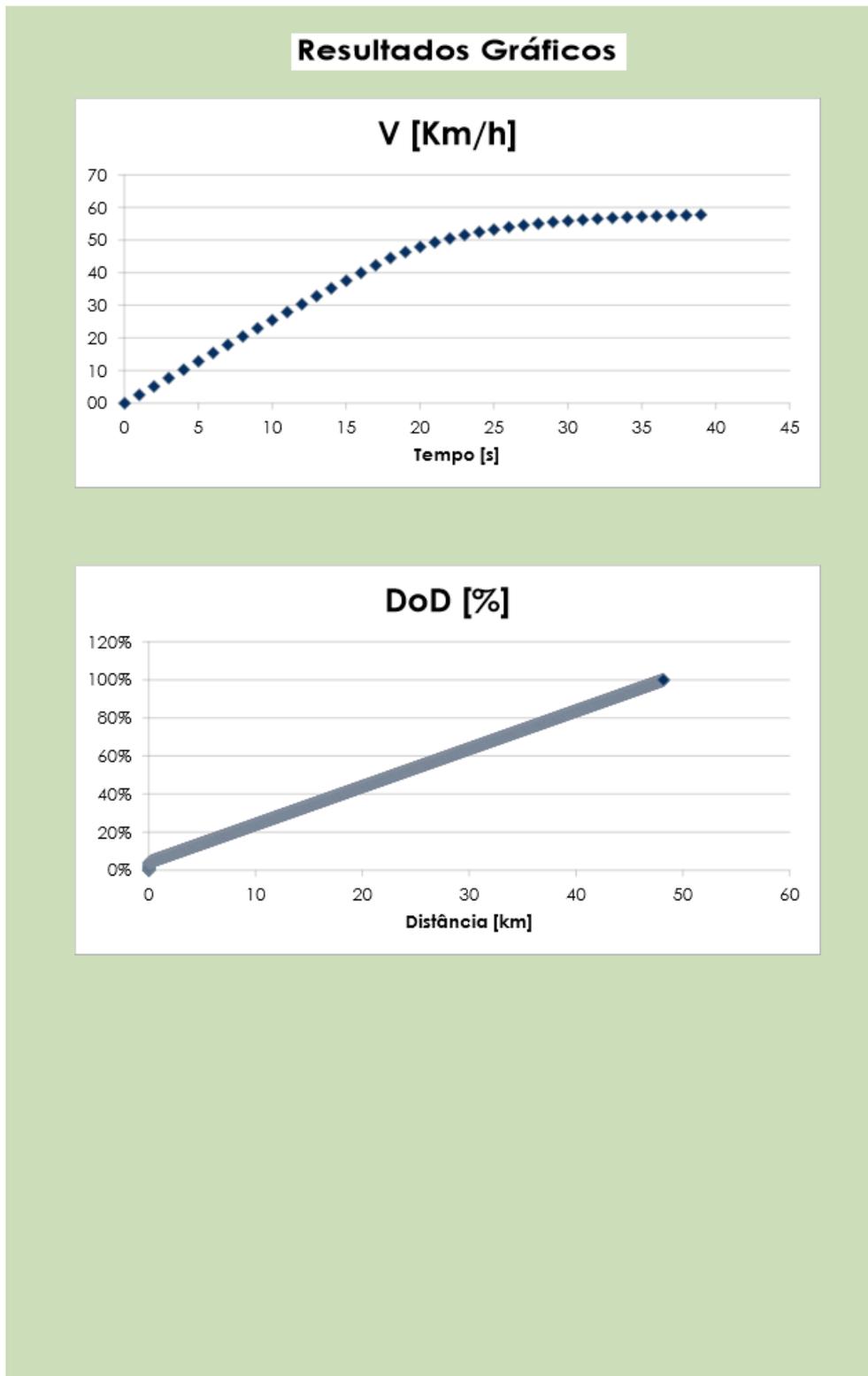


Figura A-5: Resultado Combinação 1.

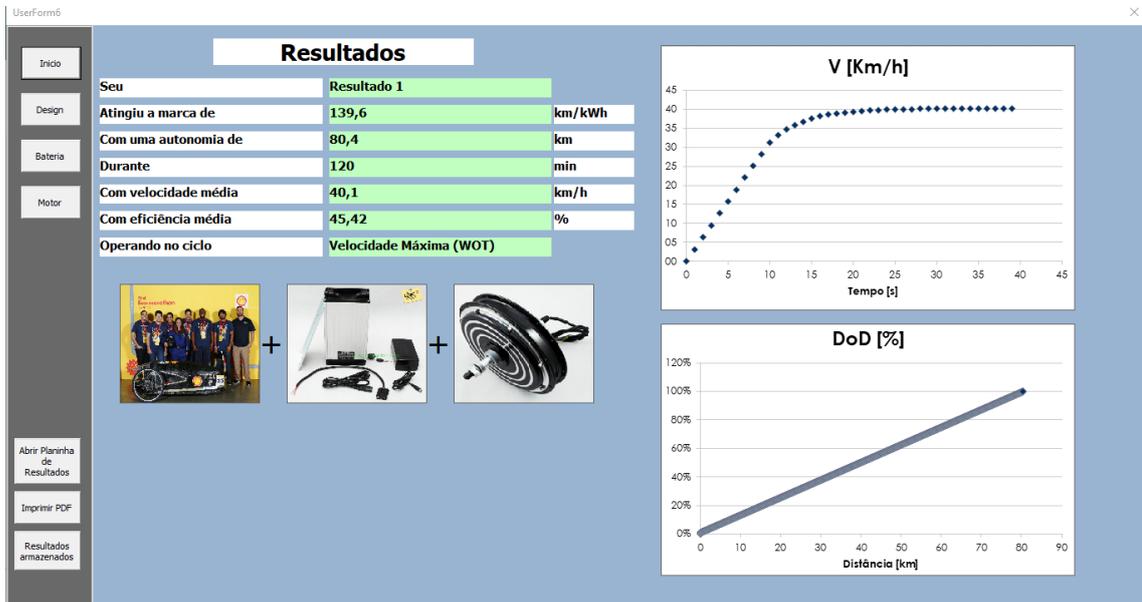


Figura A-6: Resultado Combinação 2.

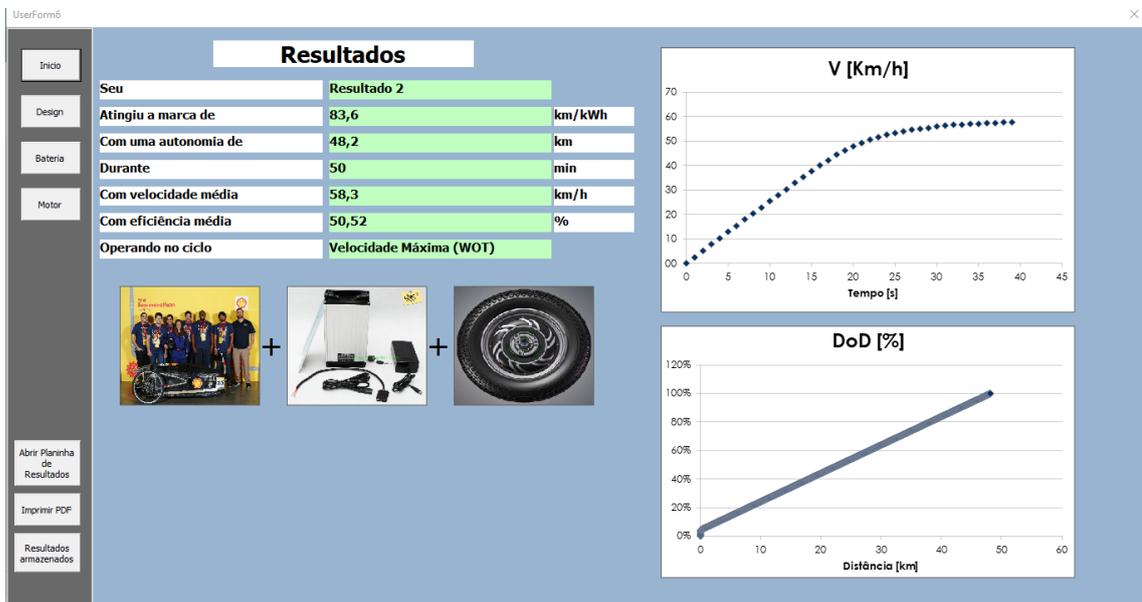


Figura A-7: Resultado Combinação 3.

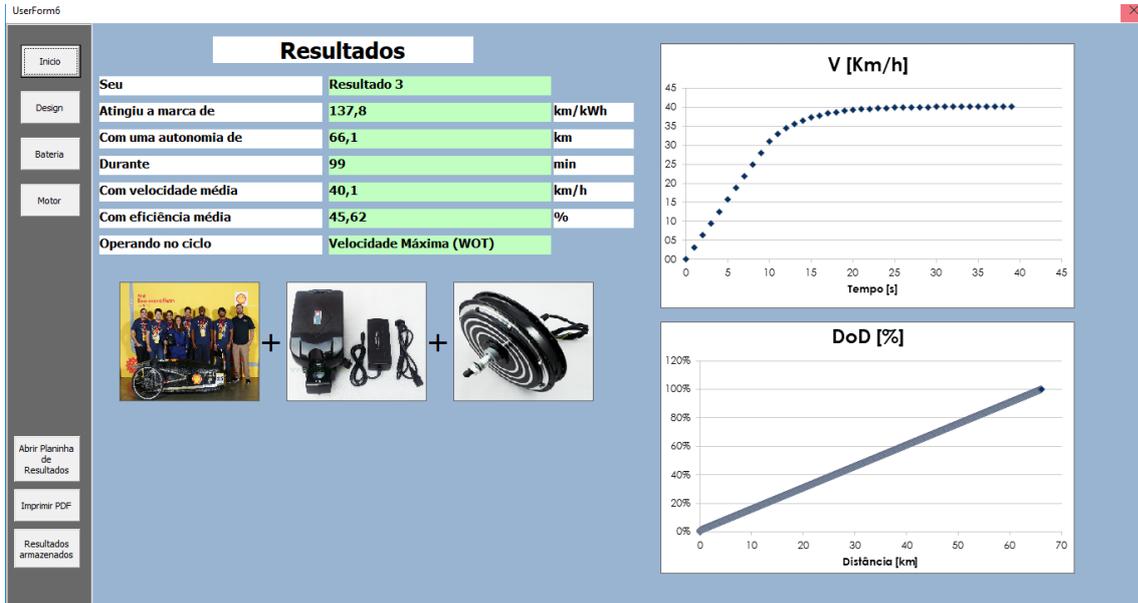


Figura A-8: Resultado Combinação 4.

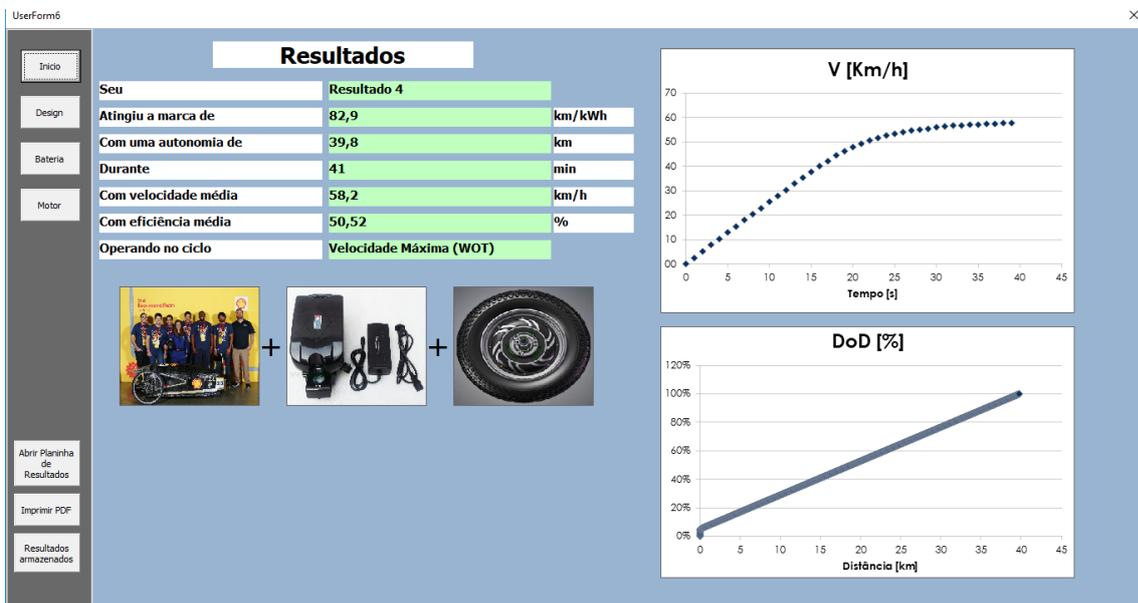


Figura A-9: Resultado Combinação 5.

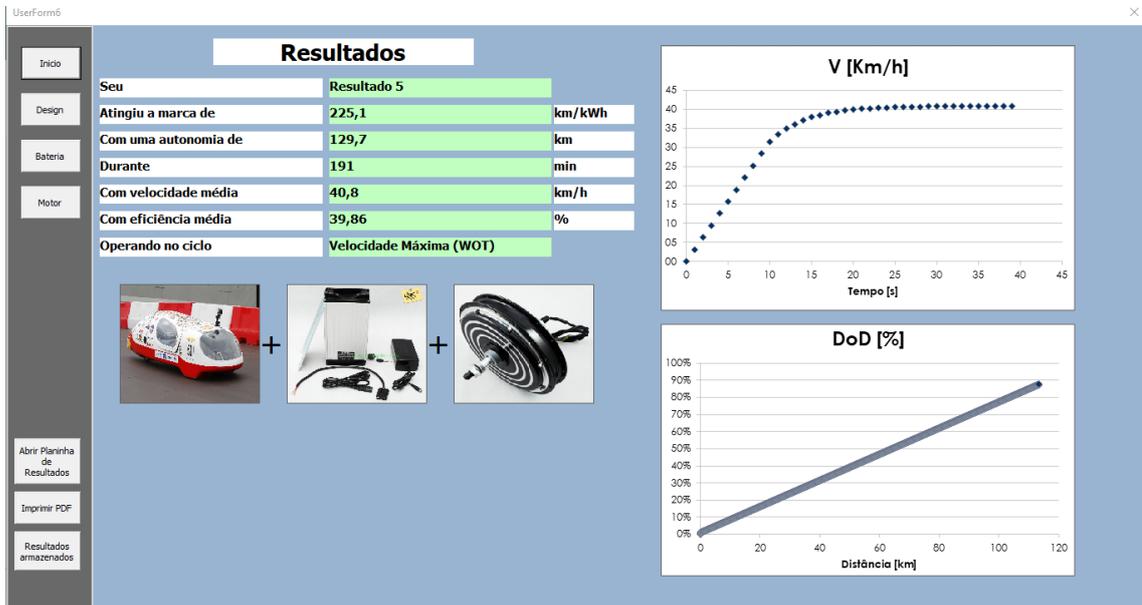


Figura A-10: Resultado Combinação 6.

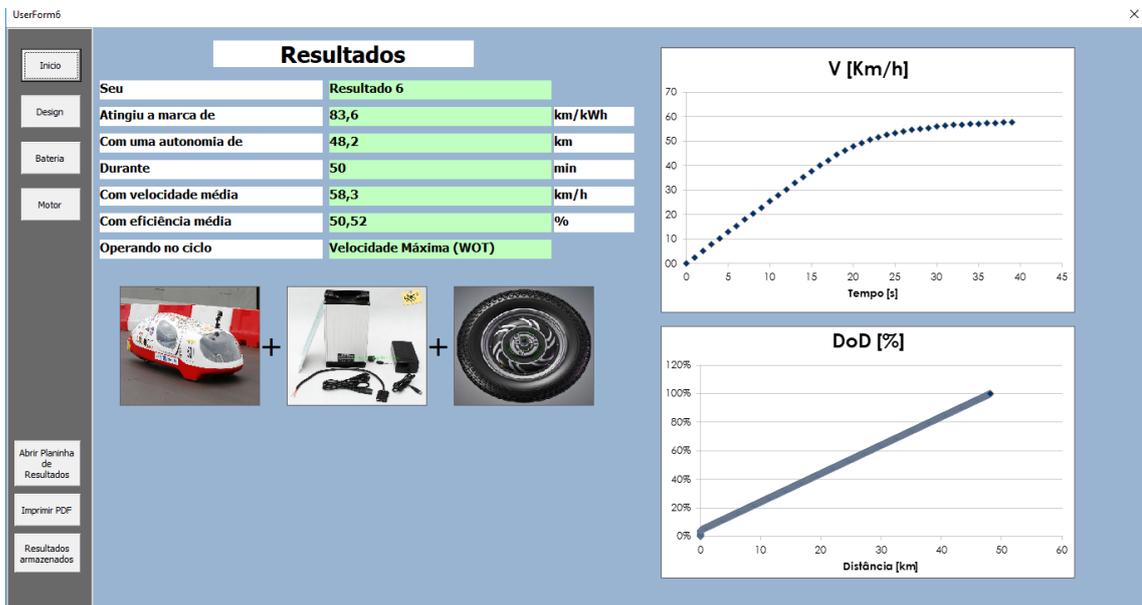


Figura A-11: Resultado Combinação 7.

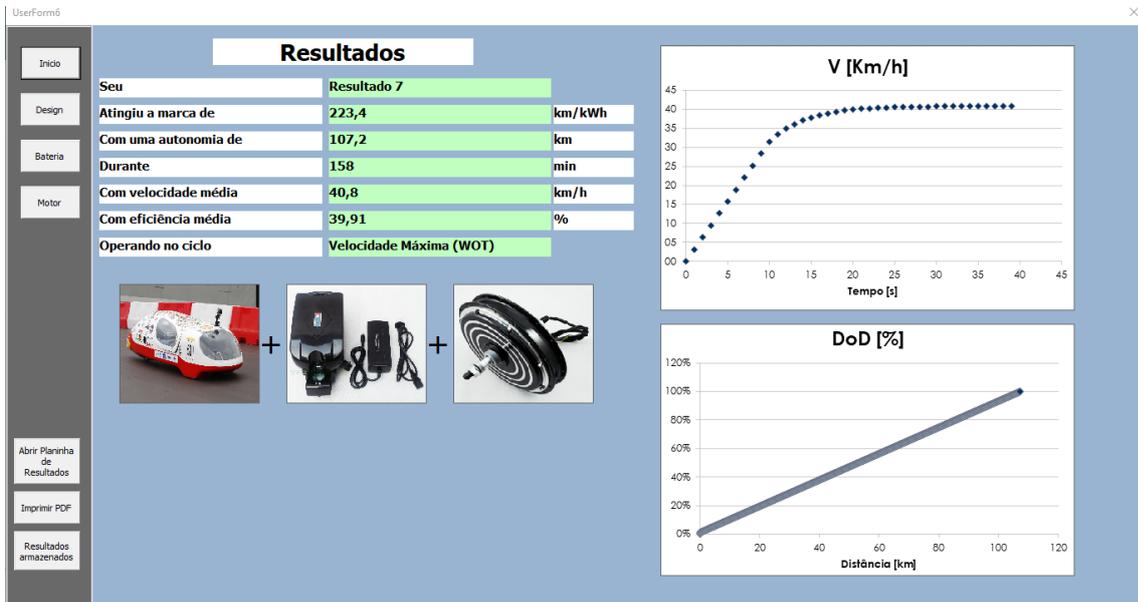


Figura A-12: Resultado Combinação 8.

