UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA PROJETO DE GRADUAÇÃO



Aron de Araujo

MICRORREDE AUTÔNOMA MÓVEL CARACTERIZADA POR UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO INTEGRADO A UM TRICICLO ELÉTRICO

Vitória-ES

 ${\rm Dezembro}/2018$

Aron de Araujo

MICRORREDE AUTÔNOMA MÓVEL CARACTERIZADA POR UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO INTEGRADO A UM TRICICLO ELÉTRICO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Aron de Araujo, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial aprovação na disciplina ELE08553 — Projeto de Graduação II.

Vitória-ES

Dezembro/2018

Aron de Araujo

MICRORREDE AUTÔNOMA MÓVEL CARACTERIZADA POR UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO INTEGRADO A UM TRICICLO ELÉTRICO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Aron de Araujo, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial aprovação na disciplina ELE08553 — Projeto de Graduação II.

Aprovado em 04 de Dezembro de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Oureste Elias Batista Universidade Federal do Espírito Santo Orientador

Prof. Me. Edmilson Bermudes Rocha Junior

Instituto Federal do Espírito Santo Examinador

Me. Luiz Guilherme Riva Tonini Universidade Federal do Espírito Santo Examinador

Vitória-ES

 ${\rm Dezembro}/2018$



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelas oportunidades que me concedeu, me permitindo chegar onde estou hoje.

Aos meus pais, por me darem os suporte e apoio necessários para que eu pudesse me dedicar integralmente aos estudos até aqui.

Aos amigos que participaram dos diversos estudos em grupo marcados durante o curso, que contribuíram bastante para a aprendizagem dos conteúdos e preparação para as avaliações.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Oureste Elias Batista, pelas orientações e por todo trabalho ao longo do desenvolvimento desse projeto.

À banca examinadora pela aceitação do convite e pelo tempo investido para leitura e avaliação deste trabalho.

RESUMO

Veículos elétricos têm se desenvolvido bastante no início deste século e suas aplicações estão cada vez mais viáveis. Com a crescente preocupação com o meio ambiente, os veículos elétricos ganharam destaque por serem uma alternativa para a redução da emissão de gases poluentes à atmosfera. A integração dos equipamentos elétricos do veículo constituem uma outra área de estudo da engenharia elétrica: microrredes. Este trabalho tem como objetivo caracterizar e montar uma microrrede móvel autônoma, que se caracteriza por um painel solar fotovoltaico carregando constantemente um banco de baterias que alimenta o motor de um triciclo elétrico. Para auxiliar e facilitar a montagem do objeto do projeto, primeiramente será apresentado cada equipamento e serão estimadas as características de funcionamento e comportamento que são esperados para o triciclo. Por fim, são apresentados a montagem e os resultados obtidos, comparando-os com os esperados.

Palavras-chave: Veículos elétricos; microrredes; microgeração; energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

Electric vehicles have been widely developed in the beginning of this century and its applications are increasingly viable. With the growing concern about the environment, the electric vehicles have been highlighted as an alternative to reduce the emission of polluting gases to the atmosphere. Also, the integration of the electrical equipments of the vehicle constitute another area of study of electrical engineering: microgrids. This work's purpose is to characterize and assemble an autonomous mobile micro-grid, which is characterized by a photovoltaic solar panel constantly charging a bank of batteries that supply the electric tricycle's motor. To assist and further the research object's assembly, each equipment will be presented first and then the expected performance and operation characteristics for the tricycle will be estimated. Ultimately, the assembly and the results obtained are presented, comparing them with those expected.

Keywords: Electric vehicles; microgrid; micro-generation; photovoltaic solar energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Triciclo a pedal	14
Figura 2 –	Uma estrutura típica de uma microrrede	19
Figura 3 –	Exemplo de uma microrrede CC	20
Figura 4 –	Esquemático da microrrede	21
Figura 5 –	Ilustração do efeito fotovoltaico	22
Figura 6 –	Efeito da temperatura na curva $I(V)$ e no pob nto de máxima potência	23
Figura 7 –	Perfil de descarga para baterias de chumbo ácido, para diferentes valores	
	de corrente de descarga	26
Figura 8 –	Efeito da temperatura na capacidade de uma bateria de chumbo ácido	26
Figura 9 –	Estado de carga e tensão de circuito aberto de uma bateria	27
Figura 10 –	Curva típica da resistência de uma bateria de chumbo ácido em função de:	28
Figura 11 –	Curvas de corrente e tensão nas três regiões do processo de carga de uma	
	bateria de chumbo ácido, com recarga a tensão constante e limitação	
	de corrente	29
Figura 12 –	Comportamento de $V(t)$ e $i(t)$ durante o processo de carga do capacitor	31
Figura 13 –	Forças que atuam em uma espira imersa num campo magnético, percor-	
	rida pela corrente de armadura	32
Figura 14 –	Motor CC brushless	33
Figura 15 –	Acionamento de um motor CC brushless	34
Figura 16 –	Motor utilizado	36
Figura 17 –	Painel solar utilizado	38
Figura 18 –	Bateria utilizada	39
Figura 19 –	Curvas de descarga para correntes constantes	40
Figura 20 –	Equalizador de baterias utilizado	42
Figura 21 –	Modo de instalação dos equalizadores para o nível de tensão desejado .	42
Figura 22 –	Conversor utilizado	43
Figura 23 –	Capacitor utilizado	44
Figura 24 –	Controlador de carga utilizado	45
Figura 25 –	Gerenciador de energia utilizado	46
Figura 26 –	Modem utilizado	47
Figura 27 –	Interface do sistema de geração de energia	49
Figura 28 –	Interface do sistema de armazenamento de energia	50
Figura 29 –	Interface do sistema da carga	51
Figura 30 –	Interface do sistema de comunicação	51
Figura 31 –	Interface do projeto	53
Figura 32 –	Paineis solares fotovoltaicos instalados no teto do triciclo	54

Figura 33 – Sistemas instalados de forma concentrada na região da cesta do tricliclo	55
Figura 34 – Triciclo montado sem os bancos	56
Figura 35 – Triciclo montado	56
Figura 36 – Informações disponíveis no controlador de carga	60
Figura 37 – Da potência do painel solar fotovoltaico ao longo do dia	61
Figura 38 – Curva I(V) do painel solar fotovoltaico	62
Figura 39 – Curva $\mathrm{I}(\mathrm{V})$ do painel solar fotovoltaico com pontos fornecidos pelo	
fabricante como referência	63
Figura 40 – Ensaio de partida no nível 1 de potência, sem carga no motor	65
1 , ,	00
Figura 41 – Ensaio de partida no nível 2 de potência, sem carga no motor	
	65
Figura 41 – Ensaio de partida no nível 2 de potência, sem carga no motor	65 65
Figura 41 – Ensaio de partida no nível 2 de potência, sem carga no motor Figura 42 – Ensaio de partida no nível 3 de potência, sem carga no motor	65 65 66
Figura 41 — Ensaio de partida no nível 2 de potência, sem carga no motor Figura 42 — Ensaio de partida no nível 3 de potência, sem carga no motor Figura 43 — Ensaio de partida no nível 4 de potência, sem carga no motor Figura 44 — Ensaio de partida no nível 5 de potência, sem carga no motor	65 65 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Watts-horas (Wh) a $25^{\circ}C$ (tensão final $10,5$ V)	41
Tabela 2 –	Valores de corrente, tensão e potência do painel solar fotovoltaico	
	monitorados durante o dia	60
Tabela 3 –	Dados da partida sem o capacitor	67
Tabela 4 –	Dados da partida com o capacitor	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDU Plano Diretor Urbano

CC Corrente Contínua

CA Corrente Alternada

MPPT Maximum Power Point Tracking

MCC Motor de Corrente Contínua

LCD Liquid Crystal Display

LED Light Emitting Diode

RMS Root Mean Square

MPPT Maximum Power Point Tracking

SIM Subscriber Identity Module

USB Universal Serial Bus

SD Secury Digital

LISTA DE SÍMBOLOS

V Tensão

I Corrente

R Resistência

C Capacitância

L Indutância

Q Carga elétrica armazenada

 E_A Força contra eletromotriz na fase A

 E_B Força contra eletromotriz na fase B

 E_C Força contra eletromotriz na fase C

 V_{corte} Tensão de corte

 V_{CHGES} Tensão no limite de descarga da bateria

 I_{BULK} Corrente constante de recarga da bateria

 V_{OCH} Tensão no limite de carga da bateria

 I_{TC} Corrente no limite de carga da bateria

 V_{FLOAT} Tensão de flutuação

 V_{mp} Tensão no ponto de máxima potência

 I_{mp} Corrente no ponto de máxima potência

 V_{oc} Tensão de circuito aberto

 I_{sh} Corrente de curto circuito

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1
Apresentação
Objetivos
Objetivo Geral
Objetivos Específicos
Justificativa
EMBASAMENTO TEÓRICO
Introdução
Veículos elétricos
História
Microrredes
Equipamentos que compõem o projeto
Painel solar fotovoitaico
Ponto de máxima potência
Bateria
História
Conceitos básicos de uma bateria
Capacidade
Estado de carga
Resistência interna
Processo de carga
Capacitor
Mega capacitor
Motor CC
Análise e características de funcionamento do motor CC sem escovas 3
Acionamento do motor CC sem escovas
METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO 3
Introdução
Equipamentos
Triciclo
Motor
Painel solar fotovoltaico
Baterias
Equalizadores de baterias

3.2.6	Conversor	
3.2.7	Capacitores	
3.2.8	Controlador de carga	
3.2.9	Gerenciador de energia	
3.2.10	<i>Modem</i>	
3.3	Interface	
3.3.1	Geração de energia	
3.3.2	Armazenamento de energia	
3.3.3	Carga	
3.3.4	Comunicação	
3.3.5	Interface entre os sistemas	
3.4	Montagem	
4	RESULTADOS E ANÁLISES	
4.1	Introdução	
4.2	Testes realizados após o término da montagem	
4.3	Monitoramento das tensões e correntes dos paineis solares ao longo	
	do dia	
4.4	Medição e comparação das tensões e correntes na partida do motor	
	com carga reduzida	
4.5	Monitoramento das tensões e correntes na partida do motor com	
	carga	
5	CONCLUSÕES E PROJETOS FUTUROS 70	
5.1	Conclusões	
5.2	Trabalhos futuros	
	REFERÊNCIAS 72	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A orla da praia de Camburi, localizada ao norte da cidade de Vitória-ES, possui 6 km de extensão e é completamente urbanizada. Toda a orla possui calçadão, que conta com pistas específicas para caminhada e corrida, *skate* e patins, além de uma ciclovia (PREFEITURA DE VITÓRIA, 2017).

É comum o aluguel de triciclos a pedal, como o da Figura 1, na orla da praia, principalmente aos domingos e feriados, quando, além do calçadão e da ciclovia, que são áreas regulares para a prática esportiva e o lazer, uma parte da Avenida Dante Michelini (avenida que beira a orla) é fechada com o objetivo de criar mais um espaço de lazer para os moradores da cidade (BATISTA, 2012).

A proposta deste projeto de graduação é utilizar um destes triciclos com um painel solar fotovoltaico integrado para auxiliar o sistema de tração, diminuindo o esforço necessário para pedalar. O triciclo escolhido como objeto de estudo comporta até 4 pessoas, sendo uma no controle da direção e contribuição com os pedais, uma apenas contribuindo com os pedais e mais duas crianças na parte frontal, que são apenas passageiras. Há um toldo com estrutura metálica e tela de lona sintética na parte superior do triciclo com a função de proteção solar e a proposta é substituir esta estrutura pelo painel solar fotovoltaico.



Figura 1 – Triciclo a pedal

Fonte: DREAM BIKE,2017.

No projeto proposto, motores serão instalados para contribuírem com o torque nos pedais, com o objetivo de diminuir o esforço para pedalar dos passageiros. O motor será alimentado tanto pelo painel solar, quanto por um banco de baterias, que será constantemente carregado pelo painel. Portanto, o painel fotovoltaico contribuirá como fonte auxiliar para contribuir com a tração no motor e no carregamento do banco de baterias. Para tal integração, será usado um controlador de carga, que é um conversor que impede o carregamento excessivo e o descarregamento profundo da bateria.

O problema tecnológico abordado envolve duas grandes áreas de pesquisa em sistemas elétricos de potência: veículos elétricos e microrredes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é estudar como integrar um painel solar fotovoltaico a um triciclo elétrico, por meio de um controlador de carga, caracterizando uma microrrede autônoma (off-grid) cujo suprimento de potência será proveniente de um banco de baterias e do painel fotovoltaico. A carga será um motor de corrente contínua, acionado por um conversor de frequência (inversor).

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos desta obra, pode-se listar:

- Estudar o funcionamento dos componentes que serão utilizados no projeto e como fazer a interface entre os distintos equipamentos;
- Montar o triciclo;
- Fazer medições referentes ao desempenho do triciclo e comparar com os valores calculados;
- Contribuir com material de consulta para trabalhos futuros com o projeto do triciclo, que envolve outras etapas e tem objetivo de ser objeto de estudos em outras pesquisas.

1.3 Justificativa

Cidades do mundo inteiro têm enfrentado grandes problemas devido à elevada frota de veículos, que aumenta ainda mais a cada ano. Há uma relação direta entre a qualidade do ar e a quantidade de casos de doenças em uma cidade, o seja, o aumento da frota de veículos impata diretamente na quantidade de pessoas afetadas por doenças em uma cidade. Além disso, a questão da mobilidade tem sido um desafio para cidades com grande frota de veículos (FREITAS et al., 2004). Uma das alternativas para minimizar os impactos, tanto da poluição quanto da mobilidade urbana, tem sido o incentivo ao uso de bicicletas no dia a dia, seja para ir ao trabalho, para a escola ou em outras atividades comuns na rotina das pessoas (BARCZAC; DUARTE, 2012).

Vitória é uma cidade que é geograficamente privilegiada neste quesito, pois é pequena e plana, comparada a outras cidades. E a prefeitura tem intenção de aproveitar tal potencial (AMARAL, 2015), incentivando o uso de bicicletas em campanhas e ações como a adesão ao dia mundial sem carro (FAUSTINI, 2017), instalação de sistema de bicicletas compartilhadas (BIKE VITÓRIA, 2016), o próprio prefeito costuma fazer o trajeto de casa até à sede da prefeitura de bicicleta (CARVALHO, 2015), além de ter aprovado em seu PDU (plano diretor urbano) a proposta de aumentar significantemente, de 60 para 100 km, a malha viária de ciclovias na cidade (VERLI, 2017).

Com isso, é natural que aumente o uso recreativo das ciclovias, aumentando também a utilização dos triciclos a pedal e, desta forma, torna o projeto viável para uma possível aplicação à comunidade, depois de desenvolvido e implementado.

Além da possível utilização do projeto para criar um produto, o estudo ainda abrange duas grandes áreas de pesquisa em sistemas elétricos de potência: veículos elétricos e microrredes.

Veículos elétricos ou híbridos são uma alternativa à diminuição dos impactos causados pela utilização de combustíveis fósseis e a perspectiva é que nos próximos anos este tipo de automóvel passe a dominar o mercado (BARAN; LEGEY, 2011).

Atualmente é grande a busca pelo uso de fontes renováveis de energia com o intuito de diminuir a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa e dentre as fontes alternativas de energia elétrica a energia solar fotovoltaica tem grande destaque, devido ao seu alto potencial (JOHANSSON et al., 1993). Com esse apelo ao uso de fontes alternativas de energia, houve um aumento na quantidade de unidades microgeradoras de energia, o

que gerou um novo desafio pois tais unidades causam certos impactos na rede elétrica, como distorções harmônicas, desequilíbrio de fases, alteração no fator de potência, perdas e distúrbios provenientes da presença de harmônicos (FRIGO, 2013). Uma alternativa para mitigar tais problemas é a implementação de microrredes (LASSETER; PAIGI, 2004).

Os conceitos estudados, desenvolvidos e registrados neste projeto poderão servir de consulta para estudos futuros nessas áreas de conhecimento, além de proporcionar o aprendizado aos envolvidos.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Introdução

Neste capítulo serão explicados os conceitos teóricos necessários para para a realização deste trabalho. O capítulo inicia abordando o conceito de veículos elétricos e, em seguida, aborda o conceito de microrredes. Por último, são estudados os equipamentos utilizados no projeto.

2.2 Veículos elétricos

Veículos elétricos são aqueles acionados por pelo menos um motor elétrico. O emprego da energia elétrica no acionamento de veículos tem se mostrado mais eficiente que os convencionais, acionados exclusivamente por motores de combustão interna. Como os veículos convencionais ainda dominam o mercado, a introdução de veículos elétricos pode reduzir consideravelmente desperdícios evitáveis de combustíveis, sobretudo fósseis (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2015).

2.2.1 História

No início do século XX os veículos elétricos dominavam o mercado norte-americano. Os baixos níveis de ruído, a ausência de vibrações das marchas eram as principais vantagens desses veículos. Em uma época caracterizada por uma malha viária precária, com as melhores vias concentradas nos perímetros urbanos, a autonomia era um atributo menos valorizado.

A crescente disponibilidade a baixo custo de derivados de petróleo e a legislação ambiental mais branda, associadas a um estágio mais primitivo das baterias, foram fundamentais para o fracasso da deste tipo de veículo, apesar do maior conforto proporcionado ao usuário. Avanços tecnológicos, como a partida elétrica, e a melhoria das estradas aumentaram a atratividade dos veículos a combustão. E, desde a década de 1910, os veículos elétricos se tornaram obsoletos, ficando restringidos a aplicações especiais.

Entretanto, nesse início de século (XXI), as preocupações ambientais, a volatilidade do mercado de petróleo e o desenvolvimento das baterias reabilitaram o veículo elétrico, que voltou a figurar como alternative ao veículo a combustão. Por ser o principal consumidor

de petróleo e representar uma das principais fontes geradoras de gases causadores do efeito estufa, o setor automotivo é um dos principais alvos das políticas energéticas e ambientais (CASTRO; FERREIRA, 2010).

2.3 Microrredes

Nos dias de hoje, conforme aumenta o interesse nas fontes renováveis de energia, muitas pesquisas envolvem a busca de uma configuração eficiente para melhorar a distribuição desta energia e utilizá-la de maneira otimizada. A microrrede se apresenta como uma alternativa para isto, já que consiste em um sistema de energia de pequeno porte contendo vários consumidores e unidades geradoras distribuídas, possivelmente utilizando-se de diferentes fontes de energia, podendo ser considerada como um sistema independente operado através da interligação com o sistema principal de energia e que pode ser desconectada deste sistema sem maiores impactos, de acordo com a situação (MARINHO, 2011).

A Figura 2 ilustra uma estrutura típica de uma microrrede, mostrando várias formas de geradores distribuídos para alimentar uma carga, podendo ou não estar conectada à rede convencional.

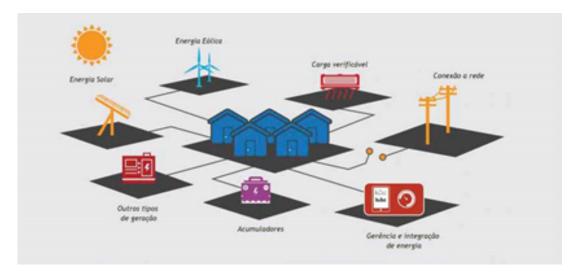


Figura 2 – Uma estrutura típica de uma microrrede

Fonte: O SETOR ELÉTRICO.2017.

As microrredes são classificadas de acordo com o tipo de corrente que utilizam, podendo ser de corrente contínua, corrente alternada ou híbridas. Há a necessidade da presença conversores de frequência entre as fontes geradoras de energia e o barramento que alimenta as cargas para que haja um ajuste nos níveis de tensão e, quando necessário, na frequência

para se ter uma integração entre as diferentes formas de geração e as cargas (LASSETER, 2002). A Figura 3 mostra esta configuração.

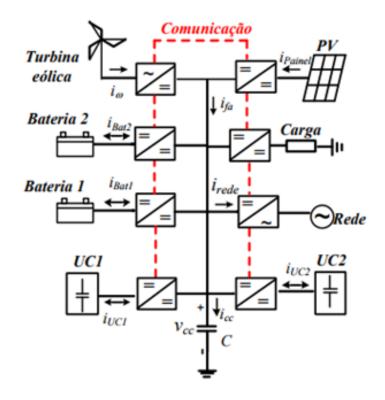


Figura 3 – Exemplo de uma microrrede CC

Fonte: BASTOS,2016.

Uma microrrede geralmente opera de maneira coordenada para prover confiabilidade no fornecimento de energia elétrica e redução do custo operacional. A operação de uma microrrede pode ocorrer de forma conectada à rede principal, através de um ponto comum de acoplamento ou de maneira isolada do sistema de potência principal. No modo conectado à rede, na ocorrência de um ilhamento, a microrrede pode operar em modo ilhado autônomo, ou seja, a microrrede pode operar desconectada do sistema elétrico de potência principal. No modo conectado à rede, a microrrede pode fornecer ou absorver energia da rede principal, ou seja, o equilíbrio entre a demanda de potência elétrica da microrrede e a oferta de potência elétrica das unidades de geração distribuída presentes na microrrede é realizado pela rede. Na operação ilhada autônoma, a geração de potência ativa e reativa das unidades de geração da microrrede deve ser equilibrada com a demanda da carga da microrrede (LUKASIEVICZ, 2016).

No Brasil, segundo a ABNT NBR IEC 62116:2012, não é permitida a operação de uma microrrede em ilhamento, ou seja, off-grid (ABNT, 2012).

2.4 Equipamentos que compõem o projeto

Até agora foram apresentados alguns conceitos gerais que estão ligados ao objeto de estudo e que são importantes para uma melhor compreensão do mesmo.

Antes de se fazer a integração dos equipamentos, como mostrado na Figura 4, que compõem a microrrede autônoma do projeto, deve-se ter um conhecimento mais aprofundado em cada equipamento, conhecendo suas funções e suas características.

O objetivo deste tópico é fazer uma apresentação dos principais equipamentos que serão utilizados na realização do projeto.

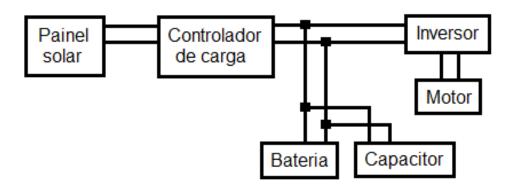


Figura 4 – Esquemático da microrrede

Fonte: Produção do próprio autor.

2.4.1 Painel solar fotovoitaico

A célula fotovoltaica é o menor elemento de um sistema fotovoltaico, produzindo tipicamente potências elétricas da ordem de 1,5 W (correspondentes a uma tensão de 0,5 V e uma corrente de 3 A). Para obter potências maiores, as células são ligadas em série e/ou em paralelo, formando módulos e painéis fotovoltaicos. Sua constituição é de silício, um material semicondutor, ao qual são adicionadas certas substâncias que criam camadas dopadas positivamente e negativamente, criando um meio adequado para o efeito fotovoltaico (CASTRO, 2003). A Figura 5 ilustra como acontece o efeito fotovoltaico.

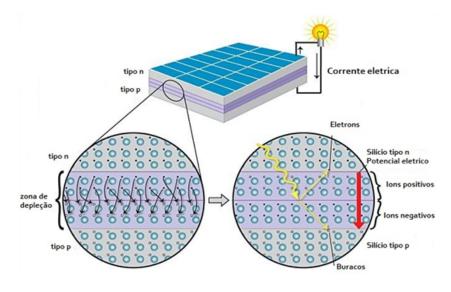


Figura 5 – Ilustração do efeito fotovoltaico

Fonte: MEE,2016.

A conversão solar fotovoltaica é uma das formas de energia alternativa mais citadas para substituir os métodos convencionais de geração de eletricidade. Atualmente a energia fotovoltaica é utilizada nas mais diversas áreas, com o objetivo de geração de energia elétrica aliada às seguintes vantagens: simplicidade de instalação, facilidade de expansão, elevado grau de confiabilidade do sistema, redução das perdas por transmissão de energia devido à proximidade entre geração e consumo e pouca necessidade de manutenção. Além disso, os sistemas fotovoltaicos são fontes, silenciosas e não poluentes, de geração de energia elétrica (CAMACHO et al., 2010).

2.4.1.1 Ponto de máxima potência

Os painéis solares fornecem uma ampla gama de tensão e corrente de saída, porém apenas determinados valores são capazes de produzir uma máxima potência. A característica I(V) dos painéis depende da irradiação solar e da temperatura da célula fotovoltaica e estas variações causam flutuações no ponto de potência máxima. Dessa forma, conversores estáticos controlados são alocados entre geradores fotovoltaicos e cargas, com a finalidade de manter o sistema trabalhando no ponto de máxima potência. (BELHACHAT et al., 2018). A Figura 6 mostra diferentes pontos de potência máxima em função da temperature ambiente.

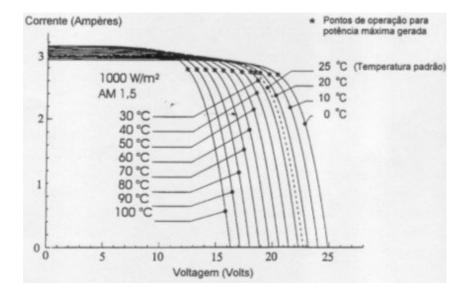


Figura 6 – Efeito da temperatura na curva I(V) e no pob
nto de máxima potência

Fonte: MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR,2016.

Estes controles conhecidos como MPPT (Maximum Power Point Tracking) são associados com conversores, os quais acoplam os geradores fotovoltaicos e as cargas, de maneira a forçar o primeiro a fornecer a potência máxima. Visando maximizar a potência fornecida pelo painel fotovoltaico são utilizados circuitos de controle MPPT, os quais possuem como base principal de funcionamento a busca pelo ponto de máxima potência. Devido à complexidade desse controle, atualmente vários estudos são desenvolvidos no ramo da eletrônica com o objetivo de propor novas configurações de controle MPPT (LIM; HAMILL, 2000).

2.4.2 Bateria

As baterias eletroquímicas são uma importante forma de armazenamento de energia que pode ser utilizada em sistemas fotovoltaicos, pois elas são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em energia elétrica. As baterias, também chamadas de acumuladores eletroquímicos, são classificadas em duas categorias: um primeiro grupo, de baterias primárias, e um segundo grupo de baterias secundárias. Baterias primárias são dispositivos eletroquímicos que, uma vez esgotados os reagentes que produzem a energia elétrica, são descartadas, pois não podem ser recarregadas. Já as baterias secundárias podem ser regeneradas, ou seja, através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais pode-se reverter às reações responsáveis pela geração de energia elétrica e assim recarregar novamente a bateria. Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia

elétrica utilizam acumuladores secundários, ou seja, baterias que podem ser recarregadas. Entre inúmeros tipos de baterias secundárias as mais comuns são as chumbo-ácido e as níquel-cádmio (GUIMARÃES et al., 2004).

Em comparação com as baterias chumbo-ácido as baterias níquel-cádmio têm algumas vantagens, como ter uma durabilidade maior, ser menos afetadas por sobrecargas, poder ser totalmente descarregadas não estando sujeitas a sulfatação e não sofrer influencia da temperatura no seu carregamento (GUIMARÃES et al., 2004), além disso as baterias de níquel-cádmio não sofrem morte súbita como as baterias de chumbo-ácido. Porém as baterias de chumbo-ácido possuem um custo muito menor do que as baterias de níquel-cádmio. Em geral, seu custo chega a ser cerca de três vezes inferior ao das baterias de níquel-cádmio. Este fato tem determinado sua generalização e continuidade de uso.

2.4.2.1 História

No início do século XX, as baterias automotivas fizeram parte de uma revolução, constituindose em uma das diversas indústrias que se estabeleceram com a crescente difusão dos automóveis. Uma das características de uma inovação radical, como foram os automóveis no início do século XX, é possibilitar a criação e o desenvolvimento de novas indústrias, alterando o *status quo* e pondo a indústria tradicional em xeque. No caso, a indústria ameaçada era a de carruagens, bem como sua cadeia produtiva.

Hoje, todos os veículos automotores contêm baterias. Elas foram introduzidas em 1912, quando assumiram um papel semelhante ao atual, substituindo a manivela de ignição e servindo para acionar as luzes. Atualmente, elas servem como fonte de energia para os sistemas auxiliares, que cresceram em quantidade, e para tarefas pontuais, como a ignição.

O início do século XXI indica aspectos semelhantes ao século anterior, com a difusão dos veículos híbridos e elétricos. Assim como a introdução dos veículos a gasolina possibilitou o desenvolvimento dos distribuidores de combustível, com uma grande presença de postos por todo o mundo, a introdução dos de infraestrutura de recarga.

Ainda que nos veículos híbridos e elétricos a bateria exerça uma função primordial, ela, em geral, é diferente das utilizadas tradicionalmente. Como as baterias passam a ser responsáveis por outras funções, como o próprio funcionamento do motor, a necessidade de energia é cada vez maior, criando uma barreira para a tecnologia tradicional (bateria de chumbo-ácido), presente nos veículos atuais, em que o Brasil dispõe de grande parque industrial. Tal barreira decorre do volume e, sobretudo, do peso dessas baterias, que não

seriam compatíveis com um veículo elétrico, embora haja algum espaço para aplicações em alguns tipos de híbridos. Surgem, então, como provável tecnologia dominante, as baterias de íon-lítio, mais leves e com maior densidade energética (CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

2.4.2.2 Conceitos básicos de uma bateria

2.4.2.2.1 Capacidade

A capacidade de uma bateria é a quantidade de carga elétrica, expressa em Ampere-hora (Ah). Assim, a capacidade nominal de uma bateria é o número total de Amperes-hora que pode ser retirado de uma bateria nova, plenamente carregada, para os valores especificados de corrente de descarga e tensão de corte. A capacidade nominal é definida para um regime de descarga de 10 horas com corrente constante, à temperatura de 25°C, até a tensão final de 1,75 V por célula ou de 10,5 V por bateria (12 V nominal). Cabe sinalar que alguns fabricantes definem regime de descarga de 20 horas e temperatura de 20°C (UNIPOWER, 2015).

A capacidade tem uma forte dependência do tempo de descarga, diminuindo (em relação à nominal) quando o tempo é muito pequeno, isto é, quando a corrente de descarga é elevada, ou aumentando quando a corrente é pequena, onde, consequentemente, o tempo para a descarga é maior (GARCIA, 2004). Como o comportamento das baterias não é linear, isto é, quanto maior a corrente de descarga menor será sua autonomia e sua capacidade, não é correto falar em uma bateria de 100 Ah, por exemplo. Deve-se falar em uma bateria 100 Ah padrão de descarga 20 horas, com tensão de corte igual a 10,5 V, o que também pode ser escrito como 100Ah C20 $V_{corte} = 10,5V$. Esta bateria permitirá descarga de 100/20 = 5A durante 20 horas, quando a bateria irá atingir 10,5V (UNIPOWER, 2015).

A Figura 7 ilustra as características típicas de descarga de baterias de chumbo ácido em temperatura ambiente de $25^{\circ}C$ a diferentes correntes de descarga. "C" indica a capacidade nominal da bateria medida em 20 horas de descarga com tensão final de 1,75 V por elemento.

C : Capacidade 25 °C 13.8 Tensão na bateria (V) 13.2 12.6 12 11.4 10.8 I=0.1 C I=0.2 C 10.2 I=0.4 C 9.6 9 30 20 Minutos tempo Horas

Figura 7 – Perfil de descarga para baterias de chumbo ácido, para diferentes valores de corrente de descarga

Fonte: UNIPOWER,2015.

A capacidade de uma bateria também é influenciada direitamente pela temperatura. À medida que a temperatura ambiente aumenta, a capacidade nominal da bateria também aumenta e vice-versa. A Figura 8 mostra os efeitos da temperatura ambiente em relação à capacidade da bateria, para baterias de chumbo ácido. Observa-se que há uma curva para cada corrente de descarga, onde a corrente de descarga é dada como um percentual da capacidade da bateria em ampere-hora, no padrão de descarga de 20 horas.

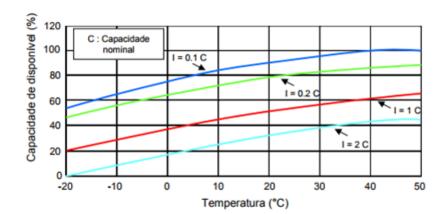


Figura 8 – Efeito da temperatura na capacidade de uma bateria de chumbo ácido

Fonte: UNIPOWER,2015.

2.4.2.2.2 Estado de carga

O estado de carga é a capacidade disponível em uma bateria expressa como porcentagem da capacidade nominal. Por exemplo, se 25 Ah foram retirados de uma bateria de capacidade nominal de 100 Ah, o novo estado da carga é de 75%. É o valor complementar da profundidade de descarga. O conhecimento do estado de carga das baterias é importante para prevenir os estados de sobrecarga e sobredescarga e poder administrar adequadamente a capacidade disponível.

A tensão de circuito aberto é um bom indicador do estado de carga da bateria quando estas permanecem durante algum tempo em repouso, isto é, sem serem carregadas e nem descarregadas (CIEMAT, 1992). A Figura 9 mostra que a tensão de circuito aberto e o estado de carga apresentam um comportamento linear.

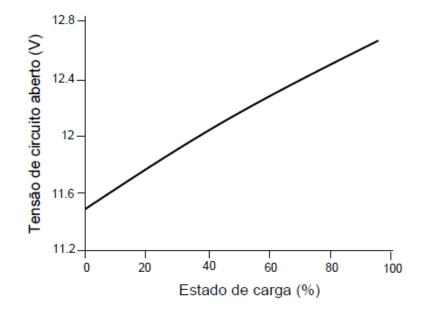


Figura 9 – Estado de carga e tensão de circuito aberto de uma bateria

Fonte: SEGUEL, 2009.

2.4.2.2.3 Resistência interna

O valor da resistência interna de uma bateria depende de vários fatores: do tipo de construção, do estado de carga, da temperatura e da idade da bateria. A resistência interna de uma bateria consiste na soma da resistência do eletrólito, placas positiva e negativa, separadores, etc. (UPTUS-NEWMAX, 2015). O valor desta resistência é direitamente

proporcional à relação entre o material ativo e o eletrólito, logo com o aumento da área da placa, a resistência diminui. (IBACACHE, 2004). Os fabricantes fornecem o valor da resistência interna considerando-se a bateria plenamente carregada, a $25^{\circ}C$ de temperatura do eletrólito. A Figura 10 apresenta a variação da resistência interna em uma bateria em relação a seu estado de carga e em função da temperatura do eletrólito.

(a) Estado de carga 1.5 Fator multiplicador 1.4 1.3 1.2 1.1 10 30 40 50 60 0 20 70 80 90 100 (b) Temperatura do eletrólito 2.4 Fator multiplicador 密

Figura 10 – Curva típica da resistência de uma bateria de chumbo ácido em função de:

Fonte: IBACACHE,2004.

Processo de carga 2.4.2.2.4

1.6

1.2

-15

-10

-5

0

5

10

15

20

25

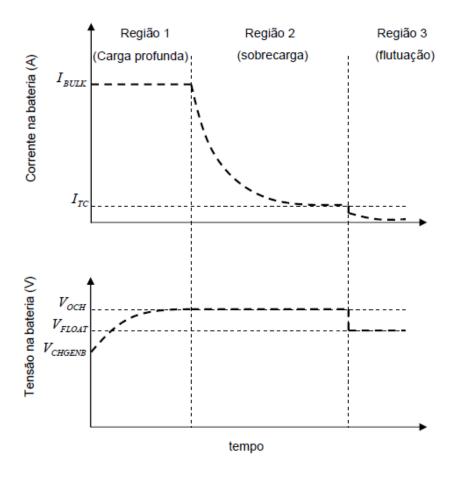
35

Providenciar o carregamento completo da bateria exige do controlador uma elaborada estratégia de controle na qual seja possível carregar a bateria, dentro de seus limites, o mais rápido possível já que o período diário de geração de energia pelo painel fotovoltaico é limitado. As baterias utilizadas nos sistemas fotovoltaicos operam de forma cíclica, descarregando à noite e recarregando durante o dia. O processo de recarga mais adequado para esses casos é o método por tensão constante e limitação de corrente (ROCHA, 2005).

Para se obter um rápido, seguro e completo processo de carga da bateria chumbo-ácido, alguns fabricantes de baterias recomendam dividir o processo em três regiões, que geralmente são denominadas por: região 1 de carga profunda (bulk charge), região 2 de sobrecarga

(over charge) e região 3 de carga de flutuação (float charge). A Figura 11 mostra as curvas de corrente e tensão sobre a bateria durante o processo de carga dividido em três estágios. (ROCHA, 2005)

Figura 11 – Curvas de corrente e tensão nas três regiões do processo de carga de uma bateria de chumbo ácido, com recarga a tensão constante e limitação de corrente



Fonte: SEGUEL,2009.

- Região 1: quando a bateria encontra-se completamente descarregada, esta atinge um valor limite de tensão V_{CHGES}. Nessa condição é fornecida uma corrente de recarga constante I_{BULK}. Tem-se que evitar uma corrente de recarga muito alta, para não provocar aquecimento excessivo e desgaste prematuro da bateria. Em geral, essa corrente deve ser limitada em 40% da capacidade da bateria (UPTUS-NEWMAX, 2015). I_{BULK} é aplicada até que o valor da tensão na bateria alcance o valor máximo de sobrecarga de tensão V_{OCH}.
- Região 2: nesta região o controlador regulará a tensão da bateria no valor V_{OCH} . O fim do processo de carregamento pode ser detectado quando a corrente de recarga cair a um valor predeterminado I_{TC} e a tensão permanecer em V_{OCH} . O valor de I_{TC} é em torno de 1% da capacidade da bateria (ROCHA, 2005).

• Região 3: nesta região é recomendado que a tensão aplicada seja reduzida para V_{FLOAT} , o que gera uma corrente de recarga muito pequena, responsável apenas para compensar a autodescarga. Essa condição é conhecida como flutuação. (ROCHA, 2005)

Os valores para V_{CHGES} , V_{OCH} e V_{FLOAT} são fornecidos pelo fabricante e geralmente correspondem a 10,5 V, 14,4 V e 13,5 V, respectivamente, para baterias de chumbo-ácido de 12 V de tensão nominal (UPTUS-NEWMAX, 2015), (UNIPOWER, 2015).

2.4.3 Capacitor

O capacitor é um elemento passivo capaz de armazenar energia na forma de campo elétrico. Ele é composto por duas placas metálicas separadas por um material dielétrico.

Ao se aplicar uma tensão em seus terminais, ele absorve e acumula carga até que fique no mesmo potencial da fonte. A carga armazenada é diretamente proporcional à tensão aplicada em seus terminais.

Capacitância é a capacidade de armazenamento de um capacitor, é medida em Farad (F) e é dada pela seguinte relação:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Onde C é a capacitância, Q é a carga quando o capacitor está totalmente carregado, ou seja, em equilíbrio e V é a tensão aplicada em seus terminais. A carga elétrica tem como unidade de medida o Coulomb, C, e a tensão é medida em Volts, V.

O valor da capacitância de um capacitor depende de muitos fatores, dentre eles: material utilizado para a fabricação, geometria das placas, distância entre as placas e as condições do ambiente, como umidade e temperatura.

Este processo ocorre pois cada placa recebe ou fornece carga ao terminal da fonte que está conectada e, dessa forma, forma-se um campo elétrico entre elas, gerando uma diferença de pontencial (ALEXANDER; SADIKU, 2007).

A dependência da quantidade da carga elétrica entre as placas do capacitor e da corrente elétrica que flui através do circuito, em função do tempo é apresenta na Figura 12. O aumento do potencial entre as placas do capacitor acompanha o aumento da carga elétrica (SERWAY; JEWETT, 2002).

Figura 12 – Comportamento de V(t) e i(t) durante o processo de carga do capacitor

Fonte: MORSE,2004.

2.4.3.1 Mega capacitor

Os mega capacitores são conhecidos desde a década de 1960 (RIGHTMIRE, 1966). Recentemente, o dispositivo tem atraído bastante atenção devido ao seu crescente uso em veículos híbridos (SCHINDALL, 2007).

Mega capacitores podem armazenar grandes quantidades de energia com a vantagem de serem capazes de entregar tal energia muito rapidamente, quando preciso (durante acelerações, por exemplo). Tal característica é o que torna o seu uso tão atrativo em veículos híbridos, pois melhora significamente a eficiência no consumo de combustível do veículo, além de evitar descargas muito abruptas na bateria, o que diminui sua vida útil. Desde à introdução de veículos híbridos há cerca de duas décadas, a demanda por mega capacitores com maior capacidade de armazenamento de energia tem aumentado anualmente e novas tecnologias vêm aparecendo, juntamente com a diminuição dos preços, o que os tornam cada vez mais viáveis (BAKHOUM, 2009).

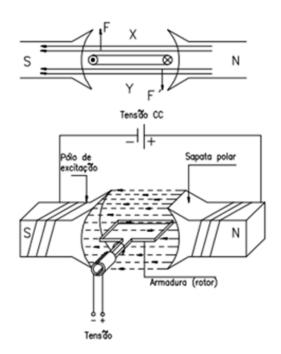
2.4.4 Motor CC

O funcionamento de um motor de corrente contínua (MCC) está baseado nas forças produzidas da interação entre o campo magnético e a corrente de armadura no rotor, que tendem a mover o condutor num sentido que depende do sentido do campo e da corrente na armadura (regra de Fleming ou da mão direita).

A figura 13 mostra o sentido das forças que agem sobre uma espira. Sob a ação da força a espira irá se movimentar até a posição X-Y onde a força resultante é nula, não dando continuidade ao movimento. Torna-se então, necessário a inversão da corrente na espira para que tenhamos um movimento contínuo.

Este problema é resolvido utilizando um comutador de corrente. Este comutador possibilita a circulação de corrente alternada no rotor através de uma fonte CC (WEG INDÚSTRIAS S.A., 2010).

Figura 13 – Forças que atuam em uma espira imersa num campo magnético, percorrida pela corrente de armadura



Fonte: WEG INDÚSTRIAS S.A.,2010.

O motor que sera utilizado no projeto será do tipo brushless, ou sem escovas. Portanto, não sera apresentado o motor com escovas.

2.4.4.1 Análise e características de funcionamento do motor CC sem escovas

No motor CC sem escovas (motor CC brushless), utilizado em carros elétricos, o enrolamento trifásico da armadura está conectado a um circuito de chaveamento eletrônico. O rotor possui dois ímãs permanentes com formato cilíndrico composto de $Nd_2Fe_{14}B$ (Neodímio-Ferro-Boro). Um sistema de detecção de posição do rotor é utilizado para determinar a sequência de chaveamento das fases. Quando o motor está em operação, o sistema de controle faz o chaveamento das bobinas do enrolamento da armadura na sequência e no tempo corretos. Para que isso ocorra, é necessário que o sistema de controle identifique a posição do campo magnético do rotor em relação às fases do enrolamento da armadura. No motor em estudo, são utilizados sensores Hall para detecção da posição do rotor. A Figura 14 mostra um desenho simplificado de um motor CC brushless em corte transversal e o seu modelo. O enrolamento trifásico da armadura é representado pelas fases A, B e C. Na Figura 14, R representa a resistência de uma fase, L a indutância de uma fase, E_a , E_b e E_c são as forças contraeletromotrizes induzidas nas fases A, B e C, respectivamente (CHAI, 1998).

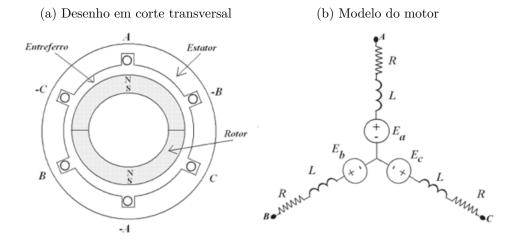


Figura 14 – Motor CC brushless

Fonte: CHAI,1998.

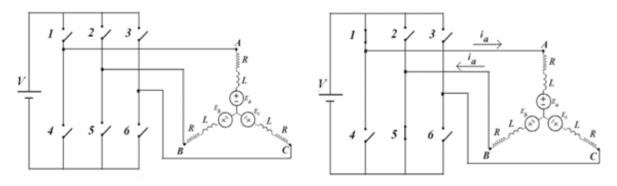
2.4.4.2 Acionamento do motor CC sem escovas

O motor brushless é acionado através de um inversor de ponte completa com seis chaves. A Figura 15 mostra o desenho esquemático do sistema de chaveamento. Quando o rotor encontra-se na posição mostrada, o controlador deverá chavear a fase A. O sentido da corrente deve ser tal, que a corrente deve percorrer a fase A com o sentido mostrado. As

chaves 1 e 5 são fechadas, e a corrente percorre as fases A e B. O sentido da rotação do motor é anti-horário. Para a produção de uma volta completa, a sequência de acionamento das chaves é 1-5, 1-6, 2-6, 2-4, 3-4, 3-5 (SU; MCKEEVER, 2000).

Figura 15 – Acionamento de um motor CC brushless

(a) Desenho esquemático do sistema de chaveamento(b) Sentido das correntes nas fases do enrolamento do motor brushless da armadura



Fonte: D'AVILA et al.,2011.

3 METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução

De posse dos equipamentos a serem utilizados, já adquiridos pela universidade, é interessante que se analise cada um deles antes da etapa de montagem para que se caracterize a microrrede e, assim, seja possível estimar quais resultados são esperados após a montagem do triciclo, na etapa de testes.

Esta seção é dividida em três partes:

- Caracterização dos equipamentos adquiridos pela universidade;
- Detalhamento de como é feita a interface entre os equipamentos;
- Montagem do triciclo.

Após a realização da montagem do triciclo, detalhada nesta seção, são mostrados os testes e ensaios realizados no triciclo, com finalidade de analisar seu desempenho e comportamento.

3.2 Equipamentos

Esta seção tem como objetivo apresentar os equipamentos disponíveis para o projeto, os dados foram obtidos nos manuais técnicos, catálogos técnicos e/ou sites dos fabricantes dos equipamentos.

Serão mostrados o fabricante, o modelo e as especificações técnicas pertinentes à montagem do projeto.

3.2.1 Triciclo

O triciclo é um Triciclo Família, da Dream Bike.

Este modelo permite dois adultos pedalarem lado a lado ao mesmo tempo ou de forma independente, com direção localizada no lado esquerdo similar a um volante e ainda carregarem duas crianças de até 6 anos na frente em um banquinho dianteiro.

O quadro é de aço reforçado e pintura eletrostática, tração nas duas rodas traseiras independentes, com rodas $street\ vmax$ aro 20", pneu e câmara de alta pressão, freio traseiro auxiliar de alavanca manual e dianteiro v-brake, bancos independentes plásticos com regulagem frente e trás, capota em lona, assento dianteiro para crianças.

O triciclo mede 1,92 m de altura, 0,98 m de largura e 1,75 m de comprimento e pesa 42,3 kg.

3.2.2 Motor

O motor foi adquirido na Wind Bikes, uma marca especializada em bicicletas elétricas e veio com um *kit* de equipamentos para a instalação e operação do motor. O modelo é Kit Conversão Bike Elétrica 600 W 36 V Dianteiro Wind Bikes, que é um motor dianteiro, montado no aro 26", com entrada para freio à disco, como observado na Figura 16. O *kit* completo pesa 9,0 kg.



Figura 16 – Motor utilizado

Fonte: WIND BIKES,2018.

O kit, além da roda com o motor, ainda possui:

- Módulo Regenerativo com sistema de ré;
- Controlador de velocidade do modelo KT36ZWSM-GP13CF para motor;

- Sistema de assistência no pedal (pedalec), que é responsável pelo acionamento do motor ao pedalar;
- Display de LCD de 36 V com velocímetro, indicador do nível da bateria, seletor do nível de assistência seletor do nível de assistência do pedalec e odômetro;
- Acelerador com 2 chaves, uma seletora do nível de potência e outra para o ajuste manual da aceleração durante o uso;
- Manetes de freio off em alumínio emborrachado, que desliga o motor ao acionar os freios;
- Carregador 36 V e conjunto de cabos para ligação de baterias de chumbo;
- Sistema de lanternas de LED ligadas na bateria, juntamente com buzina;
- Sistema de alarme anti-furto com dois controles remotos para acionamento do alarme.

A potência nominal do motor é de 600 W e opera com tensão de 36 V. Há uma chave seletora de nível de potência, com 5 níveis (20% 40%, 60%, 80% e 100% da potência nominal do motor, 600 W) que limita o máximo de potência que pode ser demandada do motor. Portanto, a aceleração controlada manualmente, pelo acelerador, é proporcional ao nível que se encontra a chave seletora.

O controlador de velocidade do motor funciona com motor *brushless* com ou sem sensor Hall. Pode funcionar com 36 V ou 48 V, com motores com potência de até 600 W. A corrente de pico indicada no controlador é de 30 A e a potência de pico é de 1440 W (48 V de tensão e corrente de 30 A).

Para se conectar aos outros dispositivos, o controlador possui plug para pedalec e pedal assistido, plug para piloto automático (cruise control), plug para 3 velocidades (50%, 100% e 120%), que desconectado funciona à 100%, plug para alarme, plug para sensor Hall, plug para acelerador, cabos para o motor (amarelo, verde e azul), cabos para auto configuração e inversão do sentido de rotação, plug da bateria e o fio on-off (pós chave), plug para as manetes de freio low brake e high brake e cabo para sensor de velocidade.

3.2.3 Painel solar fotovoltaico

Foram adquiridos 2 paineis solares fotovoltaicos do modelo Painel Solar 50W M-Si - 16 V Flexivel, da marca SolarPro Engenharia, que é mostrado na Figura 17.



Figura 17 – Painel solar utilizado

Fonte: SOLARPRO ENGENHARIA, 2018.

O painel é flexível, o material que o compõe é silicone monocristalino, mede $545 \times 535 \times 3$ mm, possui 32 células geradoras de energia e pesa 1,2 kg.

Além das especificações físicas do painel, a potência máxima fornecida por ele é de $50~\mathrm{W}$ e sua eficiência é de 21,3%.

A tensão e a corrente no ponto de máxima potência, a tensão e circuito aberto e a corrente de curto circuito são:

- $V_{mp} = 17,6V;$
- $I_{mp} = 2,84A;$
- $V_{oc} = 21, 6V;$
- $I_{sc} = 3,05A$.

3.2.4 Baterias

Foram adquiridas 2 baterias do modelo Bateria Estacionária Heliar Freedom DF300 (30 Ah / 26 Ah), da NeoSolar.

A composição da bateria é chumbo-ácido, suas dimensões (comprimento, altura e largura) em mm são 175 x 175 x 175 e seu peso é 8,8 kg. A Figura 18 mostra o modelo da bateria utilizada.



Figura 18 – Bateria utilizada

Fonte: NEOSOLAR, 2018.

O tempo de descarga da bateria depende do tipo de carga que está sendo alimentada, quanto maior a carga, menor o tempo de descarga. A Figura 19 apresenta diferentes curvas de descarga do modelo utilizado, Heliar Freedom DF300, em função da corrente drenada.

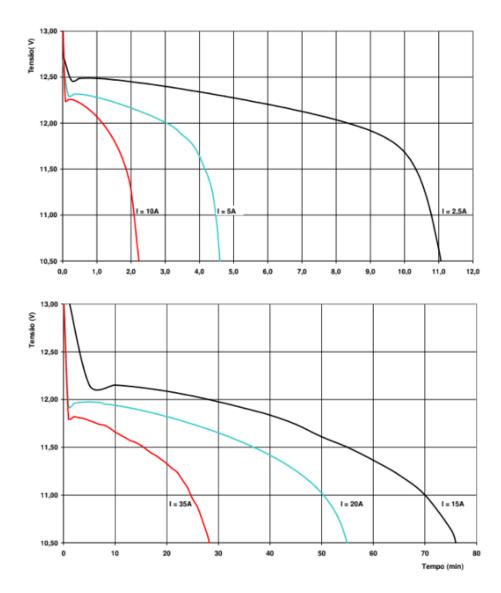


Figura 19 – Curvas de descarga para correntes constantes

Fonte: NEOSOLAR, 2008.

Pelas curvas características de descarga em função da corrente drenada, considerando-se que a corrente é mantida constante no intervalo da descarga, observa-se que o comportamento de descarga não é linear, portanto não se pode fazer uma relação proporcional do nível de tensão para se saber a porcentagem de carregamento da bateria.

Também é observado que quanto mais próximo ao fim da carga, maior a variação da tensão fornecida pela bateria no decorrer do tempo.

Assim como na Figura 19, a Tabela 1 apresenta diferentes valores para o tempo de descarga em função da potência demandada, também para a Heliar Freedom DF300.

Tabela 1 – Watts-horas (Wh) a $25^{\circ}C$ (tensão final 10,5 V)

Tempo de descarga Potência 100 h 3 W 20 h 16 W 10 h 25 W 9 h 28 W 8 h 32 W 7 h 35 W 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W 15 min 300 W		
20 h 16 W 10 h 25 W 9 h 28 W 8 h 32 W 7 h 35 W 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	Tempo de descarga	Potência
10 h 25 W 9 h 28 W 8 h 32 W 7 h 35 W 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	100 h	3 W
9 h 8 h 32 W 7 h 35 W 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 3 h e 30 min 50 W 3 h 2 h e 30 min 68 W 2 h 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	20 h	16 W
8 h 32 W 7 h 35 W 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	10 h	$25~\mathrm{W}$
7 h 6 h 37 W 5 h 45 W 4 h e 30 min 4 h 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	9 h	28 W
6 h 37 W 5 h 45 W 45 W 4 h e 30 min 46 W 47 W 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	8 h	32 W
5 h 45 W 4 h e 30 min 46 W 4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	7 h	35 W
4 h e 30 min 4 h W 4 h 4 h 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	6 h	37 W
4 h 47 W 3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	5 h	$45~\mathrm{W}$
3 h e 30 min 50 W 3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	4 h e 30 min	46 W
3 h 65 W 2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	4 h	47 W
2 h e 30 min 68 W 2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	3 h e 30 min	50 W
2 h 75 W 1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	3 h	65 W
1 h e 30 min 90 W 1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	2 h e 30 min	68 W
1 h 125 W 45 min 145 W 30 min 175 W	2 h	75 W
45 min 145 W 30 min 175 W	1 h e 30 min	90 W
30 min 175 W	1 h	$125~\mathrm{W}$
	45 min	145 W
15 min 300 W	30 min	175 W
	15 min	$300 \mathrm{W}$

Fonte: NEOSOLAR, 2013.

3.2.5 Equalizadores de baterias

O equalizador de baterias é utilizado para ligar baterias em série, mantendo o carregamento e o descarregamento uniformes, aumentando a autonomia e a durabilidade das baterias. É utilizado principalmente em bancos de baterias para sistemas de energia solar.

Foram adquiridos 2 unidades do modelo HA01, que é especificado para baterias de chumbo-ácido de 12 V, possui proteção contra inversão de polaridade. Suas dimensões em mm são $70 \times 70 \times 27$.

Na Figura 20 é mostrado um equalizador de baterias HA01.

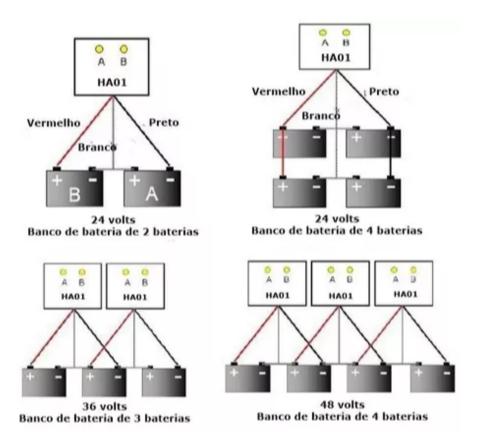


Figura 20 – Equalizador de baterias utilizado

Fonte: SMART COVER,2013.

Um equalizador conecta 2 baterias de 12 V em série, para obter tensões superiores são necessários mais equalizadores. A Figura 21 ilustra como é feita a ligação para diferentes níveis de tensão desejados.

Figura 21 – Modo de instalação dos equalizadores para o nível de tensão desejado



Fonte: SMART COVER,2013.

3.2.6 Conversor

O conversor foi importado da China, seu modelo é 1500 W 30 A DC-DC high current DC constant current power supply module of electric booster-booster, que mede, em mm, 130 x 52×84 e é mostrado na Figura 22.



Figura 22 – Conversor utilizado

Fonte: GLOBALS TRADE, 2011.

É um conversor CC-CC com tensão de entrada que pode variar entre 10 V e 60 V e corrente máxima de entrada igual a 30 A para tensão entre 10 V e 30 V na entrada e 25 A para tensão entre 31 V e 60 V. A tensão de saída pode ser ajustada entre 12 V e 90 V, com corrente máxima de 20 A. A eficiência da conversão varia entre 92% e 97%

O conversor ainda possui sistema de proteção para:

- Bateria descarregada, com tensão limite ajustável;
- Ligação invertida na entrada;
- Sobrecorrente na entrada, que atua automaticamente caso a corrente exceda 35 A;
- Curto circuito, que atua caso a corrente na saída do conversor ultrapasse 30 A.

3.2.7 Capacitores

O projeto utiliza 3 mega capacitores de 3 F, modelo Mega Capacitor 3.0 Farad - Cromo Black da marca Som SC, como mostrado na Figura 23.



Figura 23 - Capacitor utilizado

Fonte: SOM SC,2015.

Este modelo de capacitor geralmente é utilizado em sistemas de alto falante de carros e funciona como um estabilizador de tensão que auxilia a bateria nas quedas de tensão durante os picos de grave, evitando que o sistema elétrico do carro e do som tenham problemas por baixa tensão.

Sua função no projeto será auxiliar a bateria quando a carga no eixo do motor for muito alta, muito frequênte nas partidas.

Este modelo suporta até 3000 W RMS, sendo compatível com sistemas CC de 12 V à 16 V.

Ele possui alarme de tensão acima de 16 V ou de baixa tensão e suporta temperaturas entre $-40^{\circ}C$ e $95^{\circ}C$.

Este capacitor tem 30 cm de comprimento por 11 cm de largura, pesa 1,85 kg e não é preciso carrega-lo antes de ligar na bateria.

3.2.8 Controlador de carga

Os controladores de carga ficam entre os painéis e as baterias e são utilizados para controlar a tensão de entrada nelas, evitando sobrecargas ou descargas excessivas, otimizando e

prolongando a sua vida útil. Os painéis solares produzem mais ou menos energia de acordo com a quantidade de luz solar e as baterias não suportam esta variação. Para resolver este problema e também para aperfeiçoar o carregamento das baterias, se utilizam os controladores de carga.

O modelo utilizado foi BlueSolar Charge Controllers MPPT (150/45) da Victron Energy, mostrado na Figura 24.



Figura 24 – Controlador de carga utilizado

Fonte: VICTRON ENERGY,2014.

Controladores do tipo MPPT monitoram constantemente o ponto de maior potência do painel solar e tentam manter a geração o mais próximo possível deste ponto, aumentando a eficiência.

O modelo utilizado pode trabalhar com baterias de 12 V, 24 V ou 48 V, pesa 3 kg, tem uma eficiência máxima de 98%, possui proteção para ligação com polaridade invertida tanto da bateria como da placa solar fotovoltaica. A corrente nominal de carga é de 45 A e a potência nominal do painel para placas de 24 V é 1300 W.

Para que o controlador de carga ligue e inicialize, a tensão gerada pelo painel fotovoltaico deve ser pelo menos 5 V superior à tensão da bateria e, para que continue funcionando, deve se manter pelo menos 1 V acima da tensão da bateria. A máxima tensão de circuito aberto do painel, V_{oc} , que o controlador suporta é de 150 V.

3.2.9 Gerenciador de energia

O gerenciador de energia proporciona uma visão geral do sistema: estado de carga da bateria, consumo de energia atual, recolha de energia gerada pelo painel fotovoltaico, fornecimento de energia das baterias. É utilizado para se fazer um monitoramento dos dados do sistema. O modelo utilizado no projeto é Venus GX, da Victron Energy, como mostrado na Figura 25.



Figura 25 – Gerenciador de energia utilizado

Fonte: VICTRON ENERGY,2015.

$3.2.10 \quad Modem$

O objetivo de um *modem* 4G no projeto é enviar os dados coletados pelo Gerenciador de energia para que se possa fazer o monitoramento em tempo real e à distância.

O modelo adquirido é o Amplimax da Elsys, como na Figura 26.

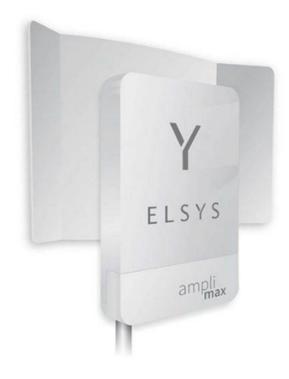


Figura 26 – *Modem* utilizado

Fonte: ELSYS,2017.

As bandas de frequência que este modelo de *modem* opera são 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz para a tecnologia 2G, 850 MHz, 900 MHz e 2100 MHz para a tecnologia 3G e 700 MHz, 1800 MHz e 2600 MHz para a tecnologia 4G, possui *slot* para *micro chip* (SIM *card*) com adaptador para *nano chip* e a taxa de *download* é de até 50 Mbps.

3.3 Interface

Com o objetivo de facilitar a montagem e tornar a etapa mais organizada e eficiente, o projeto foi dividido em 4 blocos:

- Geração de energia, que é constituído pelos painéis solares fotovoltaicos;
- Armazenamento de energia, que contém as baterias, os equalizadores de bateria, o conversor e os capacitores;
- Carga, que engloba os equipamentos do *kit* do motor que serão usados no projeto: motor, controlador, freios, *display* LCD e acelerador;
- Comunicação, constituído pelo gerenciador de carga e pelo modem 4G.

O controlador de carga é responsável por interligar os blocos dos sistemas de geração de energia com o de armazenamento.

Esta seção tem como objetivo estudar e detalhar como fazer a conexão entre os equipamentos. Primeiramente será apresentado como fazer as interfaces de cada bloco e, por fim, como interligá-los.

3.3.1 Geração de energia

Este bloco é constituído apenas de 2 painéis solares fotovoltaicos e, portanto, só há 2 possibilidades de ligação: ligação em série gerando o dobro de tensão e a mesma corrente que 1 painel ou ou em paralelo, gerando o dobro de corrente e a mesma tensão que 1 painel.

Considerando que, para que o controlador de carga ligue, a tensão gerada pelo painel fotovoltaico deve ser 5 V maior que a tensão da bateria e que deve ser mantida em 1 V superior à da bateria para que continue funcionando, e que as baterias serão ligadas em série (o motivo será explicado na próxima seção), totalizando 24 V, o painel deve fornecer pelo menos 29 V para inicializar o controlador e 25 V para que o mesmo continue funcionando.

Como a tensão no ponto de máxima potência do painel fotovoltaico é igual a 17,6 V, a ligação dos paineis deve ser feita em série para que o controlador de carga ligue. Nem mesmo a tensão de circuito aberto, $V_{oc} = 21,6V$ é suficiente para que o controlador seja inicializado.

A Figura 27 representa o esquema de ligação dos paineis e, portanto, o bloco de geração de energia.

(+) (+)

Figura 27 – Interface do sistema de geração de energia

3.3.2 Armazenamento de energia

Como mencionado na seção anterior, as baterias são ligadas em série e o motivo deste tipo de ligação será esclarecido a seguir. A tensão nominal da carga é 36 V e, para entregar tal tensão é usado um conversor CC-CC que tem como entrada a tensão entregue pelas baterias e fornece 36 V em sua saída. A tensão de entrada do conversor pode variar entre 10 V e 60 V e as baterias, quando descarregadas, entregam 10,5 V, tensão muito próxima do limite inferior do conversor. Além disso, durante as partidas pode haver uma queda de tensão (a função dos capacitores é evitar que isso ocorra, mas a possibilidade existe, caso eles estejam desligados) deixando a tensão ainda mais próxima, ou até mesmo ultrapassando o limite de operação do conversor.

Em razão disso, as baterias são ligadas em série, utilizando um equalizador de baterias na configuração de montagem para 2 baterias entregando 24 V.

A entrada do conversor é conectada às baterias, recebendo 24 V, e à saída, de 36 V, são conectados os capacitores. A saída do conversor é o ponto em que a carga será conectada, por tal motivo é que também se conecta os capacitores. Quando a carga exige uma potência muito elevada (principalmente em partidas abruptas ou em inclinações íngrimes), a tendência do sistema é de que haja uma queda de tensão nas baterias com o aumento corrente drenada e os capacitores impedem que isso ocorra fornecendo esse excesso de corrente demandada. Vale destacar que o capacitor descarrega rapidamente e, portanto, não é capaz de fornecer esta corrente extra demandada pela carga por longos períodos.

Os 3 capacitores são ligados em série, totalizando 36 V e, assim como as baterias, são conectados com equalizadores de baterias, para que a tensão em cada capacitor seja a mesma. São usados 2 equalizadores ligados na configuração para 3 baterias fornecendo 36 V.

A Figura 28 ilustra a interface do sistema completo do bloco armazenamento de energia.

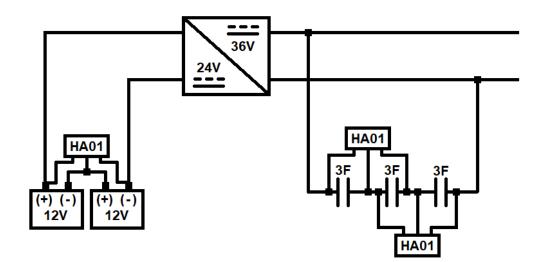


Figura 28 – Interface do sistema de armazenamento de energia

Fonte: Produção do próprio autor.

3.3.3 Carga

A carga, basicamente, é o *kit* do motor CC *brushless*. O controlador do motor é conectado à saída, de 36 V, do conversor e nele são ligados o motor e os outros equipamentos do *kit*. Os equipamentos que serão utilizados, além do motor são: *display* LCD, freios e acelerador.

O esquema de ligação do kit, que caracteriza o bloco da carga, é mostrado na Figura 28.

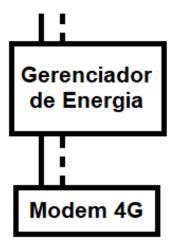
Acelerador
Freios
Display LCD

Figura 29 – Interface do sistema da carga

3.3.4 Comunicação

O sistema de comunicação é o mais simples do projeto em questão de montagem, é composto apenas pelo gerenciador de energia e pelo *modem* 4G. Para a interface, o *modem* é ligado no gerenciador de energia e o gerenciador de energia no controlador de carga, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Interface do sistema de comunicação



Fonte: Produção do próprio autor.

O gerenciador de energia conecta-se ao controlador de carga, de onde obtém os dados dos painéis e das baterias. Estes dados são salvos em um arquivo de *log* e podem ser obtidos através da porta USB do gerenciador ou inserindo-se um cartão micro-SD na porta

apropriada. O modem 4G, conectado ao gerenciador, permite o acesso à internet contínuo, tornando possível a obtenção dos dados do gerenciador de energia sem a necessidade de conexão física com ele, ainda com a vantagem de se poder monitorar em tempo real.

3.3.5 Interface entre os sistemas

Feita a interface de cada bloco, basta projetar o sistema de proteção e conectar os blocos para se obter a interface do projeto como um todo.

Os disjuntores terão a função, além de proteção do circuito, de interruptores, pra quando se desejar testar partes isoladas do sistema ou simplesmente desligar o sistema para guardar o triciclo, por exemplo.

Os paineis fotovoltaicos são ligados ao controlador de carga. A corrente de curto circuito, I_{sc} , do painel é igual a 3,05 A e a no ponto de máxima potência, I_{mp} é ihual a 2,84 A. Além dos valores serem muito próximos, não há a necessidade de um equipamento de proteção pois a corrente máxima de entrada que o controlador de carga é menor do que a corrente de curto circuito do painel, o modelo está especificado para uma potência de 560 W dos paineis solares e os paineis do projeto entregam, no ponto de potência máxima, 100 W.

Desta forma, é usado um disjuntor de 10 A com função apenas de interruptor.

Assim como os paineis solares, as baterias também são conectadas ao controlador de carga. A corrente máxima que o controlador entrega às baterias é 45 A e, por isso, foi instalado um disjuntor de 50 A com funções tanto de proteção, como de funcionar como um interruptor.

Com as baterias fornecendo 24 V para o conversor, a máxima corrente de pico do equipamento é igual a 30 A. Foi usado um disjuntor de 70 A para proteção em caso de curto circuito e como interruptor entre as baterias e o conversor.

O controlador do motor possui proteção interna que atua para correntes superiores a 30 A, portanto, não se faz necessário o uso de um sistema de proteção. Porém, é interessante que se tenha um disjuntor como chave interruptora para poder isolar os capacitores do circuito, para a realização de testes. Para esse fim, foi usado um disjuntor de 40 A. O controlador do motor é ligado diretamente à saída do conversor.

A Figura 31 ilustra a interface do projeto com todos os componentes utilizados.

Gerenciador **MPPT** de Energia 50A Modem 4G HA01 (+) (-) 12V +) (-) 12V 24V 70A 36V HA01 Controlador Acelerador **Freios Display LCD** Motor CC

Figura 31 – Interface do projeto

3.4 Montagem

Assim como na etapa anterior, de realizar a interface entre os componentes e sistemas do projeto, a etapa de montagem também será dividida em módulos, com o objetivo de, além de simplificar a etapa, facilitar a detecção de eventuais erros no processo de montagem.

O projeto de montagem foi dividido em 5 módulos baseados nos blocos descritos na seção anterior:

- Montagem do tricíclo e instalação do motor e do painel solar;
- Comissionamento do sistema de baterias: conectar as baterias, os equalizadores de bateria, o conversor e os capacitores;
- Comissionamento do sistema fotovoltaico: interligar painel solar, controlador de carga e sistema de baterias;
- Comissionamento do acionamento do motor: ligação do motor com o controlador do motor e o sistema de baterias;
- Comissionamento do sistema de comunicação: gerenciador de energia e modem 4G.

A montagem começou pelo triciclo, para que se fosse possível fazer a instalação e integração dos sistemas, a medida que eles fossem testados. Com exceção dos painéis fotovoltaicos, que foram instalados juntos com a lona protetora do teto do triciclo, ainda na montagem do mesmo e que são mostrados na Figura 32, e do *kit* do motor, todos os outros equipamentos foram instalados na cesta do triciclo, que se encontra embaixo dos bancos e pode ser visualisada na Figura 33. Dessa forma, os equipamentos ficam concentrados em um só lugar, evitando excesso de cabos e facilitando os testes.

Figura 32 – Paineis solares fotovoltaicos instalados no teto do triciclo



Fonte: Produção do próprio autor.



Figura 33 – Sistemas instalados de forma concentrada na região da cesta do tricliclo

A etapa de montagem foi concluída sem maiores problemas. Após a montagem do triciclo, houve o comissionamento de cada sistema e, a medida que um sistema era comissionado, fazia-se a integração desse sistema com os outros já montados e testados.

Nas Figuras 34 e 35 é possível visualizar o triciclo montado e com os sistemas integrados. Na Figura 34 os bancos ainda não estão instalados, portanto, pode se observar melhor a instalação dos sistemas e, na Figura 35 é apresentado o triciclo totalmente montado.



Figura 34 – Triciclo montado sem os bancos



Figura 35 – Triciclo montado

Fonte: Produção do próprio autor.

Com o triciclo montado e funcionando com um comportamento como era esperado, dá-se início aos testes e medições para comparar os desempenhos dos sistemas com os desempenhos estimados.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é descrever como foram realizados os testes, medições e ensaios no triciclo e o motivo das escolhas de cada método. Além disso, serão apresentados os resultados obtidos com os experimentos, fazendo-se uma análise se tais resultados estão de acordo com os esperados e, caso não estejam, tentar justificar tal diferença.

Para que se pudesse avaliar o comportamento e o desempenho do triciclo, de forma quantitativa, foram realizados 3 tipos de ensaio, que serão descritos nas seções seguintes. São eles:

- Monitoramento das tensões e correntes dos paineis solares ao longo do dia;
- Medição e comparação das tensões e correntes na partida do motor com a roda suspensa, ou seja, com carga reduzida ao máximo possível;
- Monitoramento das tensões e correntes na partida do motor para pôr o triciclo em movimento, com 2 pessoas.

Além dos ensaios, os testes realizados anteriormente, logo após a etapa de montagem ser concluída, também serão comentados.

4.2 Testes realizados após o término da montagem

Com o triciclo montado e com seus sistemas integrados e funcionando, deu-se início aos testes práticos do triciclo.

Foi verificada a velocidade máxima para se comparar com a especificada pelo fabricante do motor, que é de 35 km/h. Para tal teste foi aplicada a mínima carga possível ao motor, que é a roda girando livre, suspensa. Dessa forma, a única carga seria as inércias do motor e da roda, além das perdas inerentes do motor.

O display fornece a velocidade, não é preciso medi-la pois o próprio kit já é capaz de fazê-lo. A velocidade indicada pelo display foi de 35,5 km/h e está de acordo com a esperada.

O motor utilizado no projeto é vendido para ser instalado em bicicletas elétricas, uma carga menor do que o triciclo, principalmente quando se tem mais de uma pessoa utilizando-o.

O desempenho do triciclo foi testado no estacionamento do Centro Técnológico da Ufes, próximo à cantina. O chão não é asfaltado e é consideravelmente irregular, o que aumenta mais ainda a carga imposta ao motor. Além do piloto, outra pessoa participou do teste como carona, totalizando cerca de 150 kg.

Foi observado que quando se impunha uma aceleração muito brusca na partida, o sistema era desligado, não pelo sistema de proteção instalado, mas por algum equipamento do circuito, que neste momento ainda não era possível apontar.

Portanto, era necessário fazer uma partida suavizada, sem usar a aceleração máxima para tirar o triciclo do repouso.

Deste modo, nas condições descritas anteriormente e com cerca de 30 m a 50 m para se acelerar o triciclo, chegou-se a uma velocidade em torno de 17 km/h.

É possível, e muito provável, que se chegue a velocidades superiores se a distância disponível para se percorrer na realização dos testes for maior. Ainda, no asfalto, por exemplo, a carga seria reduzida e a velocidade máxima alcançada pelo triciclo também aumentaria, provavelmente.

4.3 Monitoramento das tensões e correntes dos paineis solares ao longo do dia

Para a realização deste teste foram usados os dados fornecidos pelo controlador de carga. A figura 36 mostra a interface gráfica do programa que apresenta os dados do monitoramento pelo controlador de carga.

São mostrados tanto dados do painel solar, como das baterias. No monitoramento é possível observar os valores instantâneos da corrente e da tensão nos terminais do painel e da bateria, além da informação do estado da bateria (se está carregando ou não). Além dos dados mencionados acima, também são apresentados o estado (desligada ou em operação) e a corrente da carga.

Também ficam registrados os valores de energia gerada, maiores potência e tensão registradas no intervalo de monitoramento do painel fotovoltaico, maior e menor tensão medida na bateria e o consumo.

Figura 36 – Informações disponíveis no controlador de carga

Fonte: Produção do próprio autor.

No momento o interesse é em analisar os dados referentes aos paineis solares. Ao longo do dia, em intervalos de 1 hora, foram verificados os valores de corrente, tensão e potência do painel. Os valores obtidos encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de corrente, tensão e potência do painel solar fotovoltaico monitorados durante o dia

Horário	Corrente	Tensão	Potência
09:00	1,2 A	$31,\!35~{ m V}$	39 W
10:00	1,8 A	31,90 V	58 W
11:00	2,0 A	$35{,}43~\mathrm{V}$	62 W
12:00	2,1 A	29,10 V	61 W
13:00	2,1 A	$30{,}40~\mathrm{V}$	64 W
14:00	1,6 A	$30{,}51~\mathrm{V}$	50 W
15:00	1,3 A	$30{,}35~\mathrm{V}$	39 W
16:00	1,5 A	31,79 V	48 W
17:00	1,0 A	31,58 V	33 W
18:00	0,4 A	$30,\!16~{ m V}$	11 W

Fonte: Produção do próprio autor.

Com os dados da Tabela 2, foi possível criar os gráficos mostrados nas Figuras 37, 38 e 39.

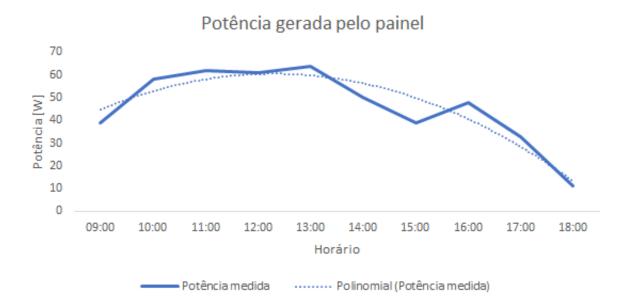


Figura 37 – Da potência do painel solar fotovoltaico ao longo do dia

Fonte: Produção do próprio autor.

O gráfico da Figura 37 mostra o nível de potência gerada em função da hora do dia. A linha contínua é a que liga os pontos relativos às medições e a tracejada é a linha de tendência da curva estimada, gerada pelo método polinomial de ordem 2.

Analisando a curva, nota-se que o nível de potência fornecida pelos paineis solares varia, como esperado, com a hora do dia. A intensidade do sol é fator determinante para a geração e isso se confirma no gráfico, dado que o período de maior geração é entre 11:00 e 14:00, horário em que os raios solares incidem com maior intensidade.

Por tal motivo, a geração de energia pelos paineis é muito inconstante, tendo variações durante o dia. Variações que acompanham as variações de intensidade de luz solar, não só pelo horário, mas também por fatores imprevisíveis, como uma nuvem que passa no céu, por exemplo, o que explica o desvio observado às 15:00 no gráfico.

Além da intensidade solar, outro fator que contribui para a geração é o ângulo de incidência dos raios solares, que em seu ponto ótimo deve ser perpendicular à placa, outra condição em que os horários próximos a 12:00 são favorecidos.

Além da curva de potência durante o dia, é interessante analisar a curva da corrente pela tensão, curva I(V), apresentadas nas Figuras 38 e 39.

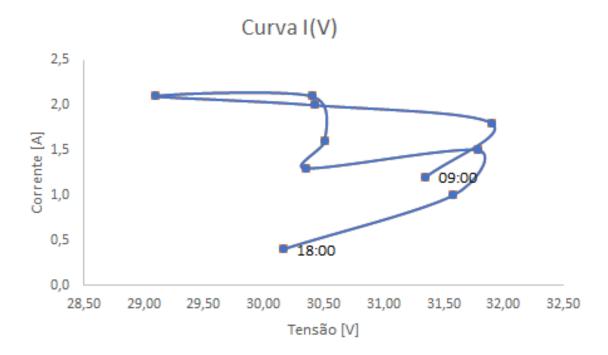


Figura 38 – Curva I(V) do painel solar fotovoltaico

Mais uma vez é possível observar, de maneira gráfica, a variação da geração dos paineis no decorrer do dia. Agora é mostrada a variação da corrente e da tensão ao longo do dia analisado.

Mesmo não possuindo a curva da corrente pela tensão, I(V), do fabricante, é possível estimar em que região do gráfico se localiza o ponto de potência máxima do painel. Pelo gráfico nota-se que se situa acima da curva, visto que nos períodos e maior geração os pontos estão na parte de cima do gráfico gráfico.

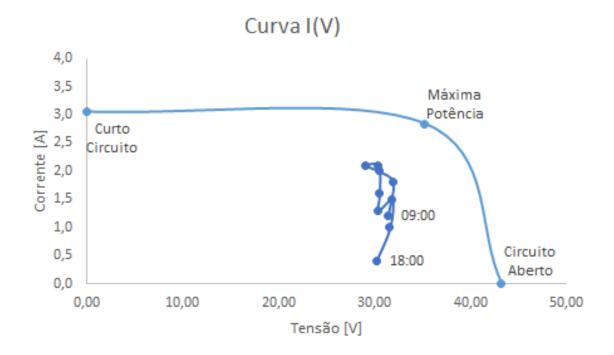
O controlador de carga do tipo MPPT busca sempre deixar a tensão e a corrente num ponto em que seja o mais próximo possível do ponto de máxima potência e, seria interessante, para fins de comparação, comparar a curva I(V) do fabricante da placa com a curva gerada a partir dos dados coletados pelo controlador de carga.

Não é possível saber ao certo em qual região é o "joelho" da curva (e que se tem o ponto de máxima potência) mas, a partir de alguns dados fornecidos pelo manual do painel, é possível estimar uma curva. Os pontos fornecidos são o de máxima potência, o de curto circuito e o de circuito aberto e os valores de tensão e corrente nesse ponto são:

- $V_{mp} = 17,6V;$
- $I_{mp} = 2,84A;$
- $V_{oc} = 21, 6V;$
- $I_{oc} = 0A$.
- $V_{sc} = 0V;$
- $I_{sc} = 3,05A$.

De posse desses dados, foi possível traçar o gráfico da Figura 39.

Figura 39 – Curva I(V) do painel solar fotovoltaico com pontos fornecidos pelo fabricante como referência



Fonte: Produção do próprio autor.

Analisando o gráfico da Figura 39 percebe-se que o ponto de operação dos paineis está distante do ponto ótimo, de máxima potência.

Um motivo que explica o desempenho abaixo do esperado, considerando que no dia do teste o tempo estava ensolarado, são as altas temperaturas registradas. As placas dos painéis têm máxima eficiência na temperatura de 25°C e na semana em que o teste foi realizado as temperaturas registradas ultrapassaram os 35°C (ACCUWEATHER, 2018).

Outro possível motivo que pode ter contribuído para a baixa geração de energia, apesar da irradiação solar no dia testado ter sido alta, é o cuidado, ou falta dele, com a limpeza dos painéis. Como os painéis se situam na parte superior do triciclo, não é de costume observá-los e, portanto, pode ser que tenha acumulado poeira nas placas, prejudicando a incidência dos raios solares no mesmo.

4.4 Medição e comparação das tensões e correntes na partida do motor com carga reduzida

O objetivo deste ensaio foi levantar as curvas das tensões e das correntes nas baterias durante a partida do motor.

Para a realização do ensaio, foi usado um calço para levantar a roda dianteira do triciclo, para que a carga no motor fosse reduzida ao máximo e para que o ensaio fosse mais uniforme, com as mesmas condições de carga em todos os testes, sem eventuais interferências externas. Foi realizada uma partida abrupta, levando a chave do acelerador ao máximo o mais rápido possível, para cada um dos 5 níveis de potência do motor. Foi realizado o ensaio com e sem a presença dos capacitores, a fim de analisar sua interferência no circuito.

Com um alicate amperímetro foi medida a corrente e, com um voltímetro, a tensão nos terminais das baterias. Durante as partidas os multímetros foram filmados e, posteriormente, os valores de tensão e corrente medidos em cada *frame* do vídeo foi anotado, assim como o instante, em milissegundos, da medição.

A partir da tabela gerada com os dados obtidos do ensaio, foi possível gerar os gráficos das Figuras 40, 41, 42, 43 e 44.

Figura 40 – Ensaio de partida no nível 1 de potência, sem carga no motor

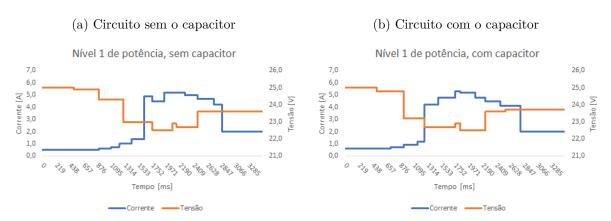
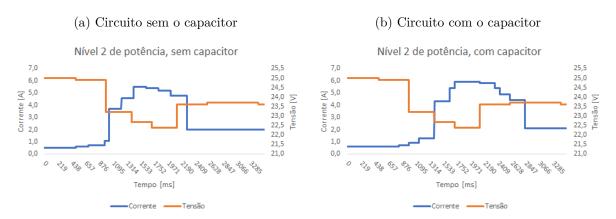
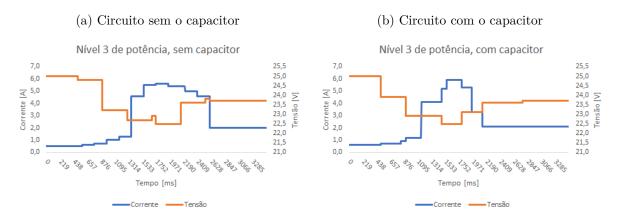


Figura 41 – Ensaio de partida no nível 2 de potência, sem carga no motor



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 42 – Ensaio de partida no nível 3 de potência, sem carga no motor



Fonte: Produção do próprio autor.

(a) Circuito sem o capacitor (b) Circuito com o capacitor Nível 4 de potência, sem capacitor Nível 4 de potência, com capacitor 7,0 7,0 25,5 25,0 24,5 24,0 [2] 23,5 or 23,0 22,5 Leaves 25,0 6,0 6,0 **≤** 5,0 **∑** 5,0 24,0 23,5 4,0 Corrente | 4,0 23,0 22,5 3,0 2,0 2,0 22,0 21,5 22,0 21,5 1.0 1.0 0,0 Corrente ——Tensão

Figura 43 - Ensaio de partida no nível 4 de potência, sem carga no motor

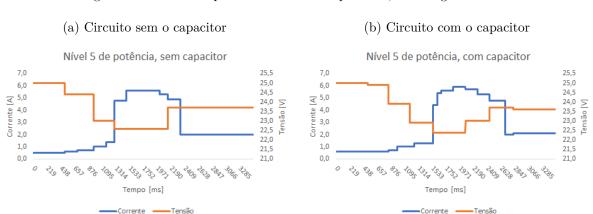


Figura 44 – Ensaio de partida no nível 5 de potência, sem carga no motor

Fonte: Produção do próprio autor.

A análise dos gráficos das curvas de tensão e corrente nas partidas com e sem capacitores no circuito, para diferentes níveis de potência, foi comprometida, pois a aquisiçãodos dados não foi realizada da maneira mais apropriada. Porém, percebe-se que o comportamento das curvas com e sem capacitor não são tão diferentes como era esperado. As Tabelas 3 e 4 auxiliam a análise das partidas.

	Tabela 3 –	Dados	da	partida	sem	o	capacito
--	------------	-------	----	---------	-----	---	----------

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Valor máximo de corrente	5,2	5,5	5,6	5,3	5,6
Corrente em repouso	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Corrente em regime	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Valor mínimo de tensão	22,5	22,4	22,5	22,4	22,6
Tensão em repouso	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Tensão em regime	23,6	23,6	23,7	23,7	23,7

Tabela 4 – Dados da partida com o capacitor

	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Valor máximo de corrente	5,3	5,9	5,9	5,9	5,9
Corrente em repouso	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Corrente em regime	2,0	2,1	2,1	2,0	2,1
Valor mínimo de tensão	22,5	22,4	22,5	22,5	22,4
Tensão em repouso	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Tensão em regime	23,7	23,6	23,7	23,7	23,6

Fonte: Produção do próprio autor.

Não foi observada diferença significativa nos desempenhos das partidas com e sem capacitor, assim como também não foi observada diferença significativa para os diferentes níveis de potência.

Uma diferença observada foi no valor máximo de corrente que, em ambos os casos, com e sem o capacitor, foi menor no nível 1 de potência.

Uma possível explicação é que com a roda suspensa, livre, a potência necessária para acelerá-la, mesmo uma aceleração abrupta, está próxima de 20% do valor da potência nominal do motor, 600 W, ou seja, próxima do limite entre os níveis 1 e 2 de potência do motor. Este limite é de 120 W e, neste caso, são necessários cerca de 120 W para uma partida abrupta do motor a vazio. Disponibilizar mais potência não fará diferença pois o motor não irá demandá-la.

Outro ponto que pôde ser observado nas Tabelas 3 e 4 é que as correntes de repouso e em regime nos circuitos com e sem capacitor diferem de 0,1 A. Sem o capacitor elas são, respectivamente, 0,5 A e 2,0 A em todos os níveis de potência e com o capacitor são,

respectivamente, 0,6 A e 2,1 A, também para todos os níveis de potência.

Um possível motivo para esse fato é que com a entrada dos capacitores no circuito, entram também os equalizadores de baterias ligados a eles, que por sua vez demandam uma certa potência para funcionarem, ocasionando uma demanda maior de corrente das baterias, além da demandada pelo motor. No caso, a corrente demandada pelos equalizadores seria de cerca de 0,1 A.

Como não há diferença muito significativa nos valores medidos, ao se fazer uma média dos valores de cada ensaio, os dados seriam mais próximos da curva característica da partida do motor. A Figura 45 mostra o gráfico gerado a partir da média de todos os 10 ensaios realizados.

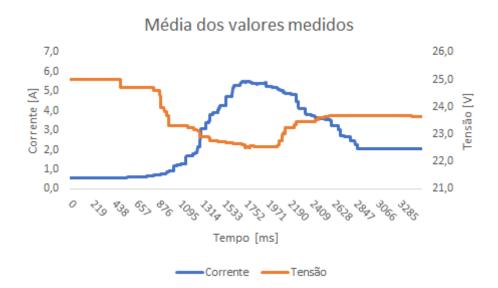


Figura 45 – Gráfico gerado com a média dos valores obtidos nos ensaios realizados

Fonte: Produção do próprio autor.

4.5 Monitoramento das tensões e correntes na partida do motor com carga

Após serem feitos os ensaios sem carga no motor, foram realizados alguns testes de partida com 2 pessoas no triciclo (piloto e carona) monitorando a tensão e a corrente nos terminais das baterias.

Foram realizadas uma série de partidas com e sem a presença dos capacitores no circuito do triciclo e nos diferentes níveis de potência possíveis, a fim de se avaliar o comportamento

do sistema para as diferentes condições de operação.

Percebeu-se que quanto maior o nível de potência selecionado, maior a dificuldade para se controlar a velocidade. O que é facilmente explicado, pois ao se mudar a seleção do nível de potência para um nível acima, ou seja, 20% a mais de potência disponível, uma mesma variação no acelerador será responsável por um acionamento demandando 20% a mais de potência, já que o acelerador nada mais é do que um controle manual da parcela da potência que será entregue ao motor.

Durante os testes, as partidas deviam ser suaves pois, caso contrário, o sistema desligava, como dito anteriormente na seção dos primeiros testes. Não havia um valor fixo para a queda do sistema, mas quando a corrente ficava entre 30 A e 35 A e a tensão entre 10 V e 15 V, aconteciam os desligamentos.

Como nenhum disjuntor foi desarmado, a proteção que atuou foi de algum componente. É provável que o conversor CC/CC tenha atuado, pois em suas especificações ele opera com, no mínimo, 10 V ou, no máximo, 30 A em sua entrada. Ambos valores próximos aos obtidos nos momentos dos desligamentos. É possível que tenham ocorrido desligamentos pelos dois motivos mencionados acima.

Um dado curioso é que em uma das partidas chegou-se a 36,8 A e 11,6 V nos terminais da bateria e o sistema não desligou. Porém, nesse caso, a partida foi suavizada e a aceleração aumentando à medida que o triciclo saía da inércia.

Por ter sido realizado num terreno muito irregular, sem espaço para se percorrer grandes distâncias e não ter uniformidade na aplicação da aceleração, os dados dos testes foram comprometidos, não sendo possível realizar uma análise quantitativa acerca da influência dos capacitores no circuito. Porém, numa análise qualitativa, com o que foi observado durante os testes, o capacitor pareceu auxiliar o motor em pequenas perturbações, como passar com o triciclo sobre um buraco ou desnível, por exemplo.

5 CONCLUSÕES E PROJETOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Durante a realização deste trabalho foi feita uma grande pesquisa acerca dos equipamentos envolvidos no projeto, além de temas pertinentes ao trabalho, como veículos elétricos e microrredes, que são atuais e importantes na área da engenharia elétrica.

Além do estudo sobre os equipamentos que seriam utilizados no trabalho, houve um detalhamento dos modelos dos equipamentos propriamente ditos, caracterizando os dados e as particularidades de cada um, para, em seguida, ser projetada a interface entre os mesmos. Como resultado, obteve-se o circuito esquemático do triciclo, como mostrado na Figura 31, que indica como devem ser feitas as conexões entre os equipamentos utilizados, assim como os dispositivos de proteção.

Por fim, com o triciclo já montado, foram realizados uma série de testes que constataram que algumas partes do projeto devem ser analisadas com mais cuidado e de forma mais detalhada, como a influência dos capacitores no circuito. Não foi possível, com os testes realizados, avaliar a influência dos capacitores nas partidas do triciclo, quando este está inserido no circuito. Para tal avaliação é necessário que se faça ensaios mais precisos para diferentes níveis de potência e para diferentes cargas, mantendo-as constantes em cada ensaio. Para a realização dos ensaios com carga, sugere-se que o ensaio seja realizado como o ensaio a vazio deste projeto, com a roda dianteira suspensa, e seja aplicada uma carga regular e constante à roda, como um freio mecânico, e se realize diferentes ensaios (para cada nível de potência e com ou sem os capacitores, como realizado no ensaio a vazio deste projeto) para diferentes cargas. O uso de um osciloscópio ou um monitoramento por um microcontrolador, através de sensores, seria mais indicado do que o modo realizado neste trabalho, com um amperímetro e um voltímetro, que possuem taxas de amostragem muito inferiores.

É necessario, também, estudar meios para implementar métodos de partida que não desliguem o sistema ou, melhor ainda, estudar a possibilidade de auxiliar a partida de algum modo que não gere variações de magnitudes tão altas nos valores de tensão e corrente nas baterias. Com a análise dos ensaios mencionados acima será possível saber se a inserção de mais capacitores seria suficiente para a solução deste problema. Caso não seja, seria preciso desenvolver métodos de partidas mais suaves para diminuir a potência demandada

e, assim, evitar os desligamentos. De qualquer forma, é interessante o desenvolvimento e implementação de métodos de partidas que não demandem tanta potência do circuito.

É recomendado que se refaça o monitoramento utilizando o controlador de carga para verificar as variações de corrente e tensão gerados pelos painéis solares ao longo do dia, porém, desta vez, com cuidado para que os painéis estejam limpos. Também é recomendável que se analise os dados de temperatura nos momentos das medições, para que desta forma a análise fique mais segura, com menos interferências, e seja possível analisar a influência da temperatura, além da intensidade do sol.

5.2 Trabalhos futuros

O objeto de pesquisa deste trabalho ficará disponível na universidade para que outros estudantes possam desenvolver mais projetos e pesquisas utilizando-o, portanto, são esperados bastantes outros projetos utilizando o triciclo descrito neste trabalho como tema central.

As caracterizações dos equipamentos, os diagramas dos sistemas que compõem o projeto, assim como o diagrama do próprio projeto, interligando os subsistemas do mesmo, além dos ensaios realizados neste trabalho, sirvem de base e consulta para outros trabalhos futuros ou, até mesmo, para projetos que já estão em andamento.

Além da possibilidade de se dar continuidade aos testes e ensaios iniciados neste trabalho para que se tenha um detalhamento mais completo do comportamento do triciclo, seguindo as sugestões indicadas neste texto, existe a possibilidade de se trabalhar com novas ideias a serem implantadas e/ou testadas, ou seja, é esperado que este trabalho sirva de consulta para diversos outros trabalhos que tenham como objeto de estudo o triciclo desenvolvido e detalhado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT. <u>Catálogo de normas da ABNT</u>. 2012. Disponível em: http://www.abntcatalogo.com.br. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 20.
- ACCUWEATHER. Série histórica de temperatura no mês de novembro de 2018 em Vitória ES. 2018. Disponível em: https://www.accuweather.com/pt/br/vitoria/32929/november-weather/32929. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 63.
- ALEXANDER, C.; SADIKU, M. <u>Fundamentals of Electric Circuits</u>. 3. ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, Inc., 2007. ISBN 0073301159, 9780073301150. Citado na página 30.
- AMARAL, J. P. <u>Para prefeito, Vitória pode se tornar a capital da bicicleta no Brasil.</u> 2015. Disponível em: http://bikeelegal.com/para-prefeito-vitoria-pode-se-tornar-a-capital-da-bicicleta-no-brasil/. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 16.
- BAKHOUM, E. G. New mega-farad ultracapacitors. <u>IEEE Transactions on Ultrasonics</u>, <u>Ferroelectrics</u>, and <u>Frequency Control</u>, v. 56, n. 1, p. 14–21, January 2009. ISSN 0885-3010. Citado na página 31.
- BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil. In: BNDES SETORIAL. [S.l.], 2011. Citado na página 16.
- BARCZAC, R.; DUARTE, F. Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 4, n. 1, p. 13–32, 2012. Citado na página 16.
- BASTOS, R. F. Sistemas de gerenciamento para integração em CC de fontes alternativas de energia e armazenadores híbridos conectados à rede de distribuição via conversores elétricos. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, 2016. Citado na página 20.
- BATISTA, C. A. Domingos e feriados: avenida Dante Michelini é opção de lazer para os moradores. 2012. Disponível em: http://www.vitoria.es.gov.br/noticias/noticia-8392. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 14.
- BELHACHAT, F. et al. Commande neuro-floue d'un hacheur mppt. 10 2018. Citado na página 22.
- BIKE VITÓRIA. <u>Bem vindo ao Bike Vitória</u>. 2016. Disponível em: http://www.bikevitoria.com>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 16.
- CAMACHO, J. R. et al. Uma proposta de técnica de rastreamento do ponto de máxima potência de um painel fotovoltaico. In: . [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 22.
- CARVALHO, J. <u>Uso de bicicletas já é rotina como meio de transporte para servidores</u>. 2015. <u>Disponível em: http://www.vitoria.es.gov.br/noticia/uso-de-bicicletas-ja-e-rotina-como-meio-de-transporte-para-servidores-17207. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 16.</u>

CASTRO, B. H. R. de; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. da. Baterias automotivas: panorama da indústria no brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. In: BNDES SETORIAL. [S.l.], 2013. Citado na página 25.

- CASTRO, B. H. R. de; FERREIRA, T. T. <u>Veículos elétricos: aspectos básicos</u>, perspectivas e oportunidades. [S.l.], 2010. Citado na página 19.
- CASTRO, R. M. G. Energias renováveis e produção descentralizada. 2003. Citado na página 21.
- CHAI, H.-D. <u>Electromechanical Motion Devices</u>. Prentice Hall PTR, 1998. ISBN 9780132634199. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=BTpSAAAAMAAJ. Citado na página 33.
- CIEMAT. Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energia solar fotovoltaica [curso. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (España), 1992. (Serie Ponencias). ISBN 9788478341689. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=J9dhAAAACAAJ. Citado na página 27.
- D'AVILA, C. E. P. et al. Estudo de um motor cc brushless aplicado no acionamento de um carro elétrico de pequeno porte. Revista Liberato, v. 12, p. 159–168, 01 2011. Citado na página 34.
- DREAM BIKE. <u>Triciclo Família</u>. 2017. Disponível em: http://www.dreambike.com.br/paginas/triciclo_familia.htm. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 14.
- ELSYS. <u>Amplimax</u>. 2017. Disponível em: https://www.elsys.com.br/produto-detalhes/AMPLIMAX. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 47.
- FAUSTINI, F. <u>Dia Mundial sem Carro: incentivo ao uso de bikes e transporte público.</u> 2017. Disponível em: http://www.vitoria.es.gov.br/noticias/noticia-24966>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 16.
- FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição em são paulo, 1993 a 1997. Revista Saúde Pública, v. 38, n. 6, p. 751–757, 2004. Citado na página 16.
- FRIGO, M. M. <u>Impacto da microgeração de energia elétrica em sistemas de distribuição de baixa tensão</u>. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2013. Citado na página 17.
- GARCIA, F. H. <u>Análise Experimental e Simulação de Sistemas Híbridos</u>
 <u>Eólico-Fotovoltaico</u>. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. Citado na página 25.
- GLOBALS TRADE. 1500 W 30 A DC-DC high current DC constant current power supply module of electric booster-booster. [S.l.], 2011. Disponível em: http://en.globals-03.trade/index.html?lang=en. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 43.
- GUIMARÃES, A. P. C. et al. <u>Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos</u>. [S.l.]: CEPEL CRESESB, 2004. Citado na página 24.

IBACACHE, H. A. R. <u>Desarrollo de um Cargador-Descargador de Baterias Basado en una Topologia Buck/Boost Bidireccional en Corriente para ser Utilizado en un UPS.</u> 2004. Citado na página 28.

- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Sobre veículos elétricos. 2015. Disponível em: http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 18.
- JOHANSSON, T. B. et al. <u>Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity</u>. [S.l.]: Island Press, 1993. Citado na página 16.
- LASSETER, R. H. Microgrids. In: <u>2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting.</u> Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309). [S.l.: s.n.], 2002. v. 1, p. 305–308 vol.1. Citado na página 20.
- LASSETER, R. H.; PAIGI, P. Microgrid: a conceptual solution. In: <u>2004 IEEE 35th</u> Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.04CH37551). [S.l.: s.n.], 2004. v. 6, p. 4285–4290 Vol.6. ISSN 0275-9306. Citado na página 17.
- LIM, Y. H.; HAMILL, D. C. Simple maximum power point tracker for photovoltaic arrays. Electronics Letters, v. 36, n. 11, p. 997–999, May 2000. ISSN 0013-5194. Citado na página 23.
- LUKASIEVICZ, T. Controle de uma microrrede ilhada baseada em geração eólica-diesel com alto nível de inserção de geração eólica. Dissertação (Mestrado) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Citado na página 20.
- MARINHO, G. S. P. <u>Apresentação de uma indústria sucroalcooleira sob os conceitos de microrrede de energia elétrica</u>. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, <u>2011</u>. Citado na página 19.
- MEE. <u>Como funciona um painel fotovoltaico?</u> 2016. Disponível em: http://www.meeprojetos.com.br/energia-solar/funcionamento-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 22.
- MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR. MPPT Seguidor do ponto de máxima potência Eficiência energética. 2016. Disponível em: https://energiasolar-microgr.com. br/inversores/mppt/>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 23.
- MORSE, R. Franklin and Electrostatics Ben Franklin as my Lab Partner. [S.l.]: Wright Center for Science Education Tufts University, 2004. Citado na página 31.
- NEOSOLAR. <u>Manual Técnico Bateria Estacionária Freedom</u>. [S.l.], 2008. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_especificacoes_tecnicas_pt.pdf. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 40.
- NEOSOLAR. <u>Catálogo Técnico Bateria Estacionária Freedom</u>. [S.l.], 2013. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_manual-tecnico-pt.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 41.
- NEOSOLAR. <u>Bateria Estacionária Heliar Freedom DF300 (30Ah / 26Ah)</u>. 2018. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/ bateria-estacionaria-freedom-df300-30ah-26ah.html>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 39.

O SETOR ELÉTRICO. <u>Desafios na proteção de microrredes</u>. 2017. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/desafios-na-protecao-de-microrredes/. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 19.

- PREFEITURA DE VITÓRIA. <u>Camburi</u>. 2017. Disponível em: http://www.vitoria.es.gov.br/cidade/praia-de-camburi. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 14.
- Robert A. Rightmire. <u>Electrical energy storage apparatus</u>. 1966. 3 288 641. Citado na página 31.
- ROCHA, F. F. Avaliação e Projeto de uma Fonte de Energia para Sistema de Detecção de Faltas em Redes de Distribuição Rurais. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.
- SCHINDALL, J. The charge of the ultracapacitors. <u>IEEE Spectrum</u>, v. 44, n. 11, p. 42–46, Nov 2007. ISSN 0018-9235. Citado na página 31.
- SEGUEL, J. I. L. <u>Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital</u>. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- SERWAY, R.; JEWETT, J. <u>Princípios De Física Vol. Iii Eletromagnetismo</u>. [S.l.]: CENGAGE DO BRASIL, 2002. ISBN 9788522116386. Citado na página 31.
- SMART COVER. <u>Battery Equalizer HA01</u>. [S.l.], 2013. Disponível em: https://www.smart-cover.gr/images/smartcover6077dcb7053a4ccb2941db2d04ae06e1_5070.pdf. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 42.
- SOLARPRO ENGENHARIA. <u>Painel Solar 100W M-Si 12v Flexivel</u>. 2018. Disponível em: https://loja.solarproengenharia.com/painel-solar-monocristalino-100w-12v-flexivel. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 38.
- SOM SC. <u>Mega Capacitor 3.0 Farad Cromo Black</u>. 2015. Disponível em: http://www.somsc.com.br/produto/mega-capacitor-3-0-farad-cromo-black-71976. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 44.
- SU, G.-J.; MCKEEVER, J. W. Design of a pm brushless motor drive for hybrid electric vehicle application. In: . Boston: PCIM 2000 Conference, 2000. Citado na página 34.
- UNIPOWER. Manual técnico: Bateria Chumbo ácida selada regulada por Válvula. [S.l.], 2015. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 30.
- UPTUS-NEWMAX. <u>Manual Técnico Serie 12 volts</u>. [S.l.], 2015. Disponível em: http://www.optus.com.br/site_newmax/12v.zip. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 30.
- VERLI, C. <u>Vitória planeja colocar ciclovias dentro dos bairros</u>. 2017. Disponível em: http://www.gazetaonline.com.br/cbn_vitoria/reportagens/2017/07/vitoria-planeja-colocar-ciclovias-dentro-dos-bairros-1014075505.htm. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 16.
- VICTRON ENERGY. SmartSolar MPPT de 150/45 a 150/100. 2014. Disponível em: https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers/smartsolar-150-45-150-60-150-70-150-85-150-100. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 45.

VICTRON ENERGY. <u>Venus GX</u>. 2015. Disponível em: https://www.victronenergy.pt/ panel-systems-remote-monitoring/venus-gx>. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 46.

WEG INDÚSTRIAS S.A. <u>Características e especificações de motores de corrente</u> contínua e conversores CA/CC. 2010. Citado na página 32.

WIND BIKES. <u>Kit Conversão Bike Elétrica 600 W 36 V Dianteiro Wind Bikes.</u> 2018. Disponível em: https://www.windbikes.com.br/kits?product_id=838. Acesso em: 30 nov. 2018. Citado na página 36.