



Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

Endereço eletrônico:
<http://florianopolis.ifsc.edu.br/~eletronica/>



PROPOSTA DE UM MÓDULO DE CONTROLE E ACIONAMENTO PARA DOIS MOTORES APLICADOS EM BICICLETA ELÉTRICA

Adriano Machado Pinheiro¹, André Luiz Fuerback², Joabel Moia³

Resumo: Este artigo aborda uma proposta de um módulo de controle e acionamento para dois motores voltados a aplicação em bicicletas elétricas. A tração elétrica vem ganhando grande espaço no mercado de meios de transporte graças a uma série de fatores, com foco em eficiência energética e baixa emissão de poluentes. Existem diversos tipos de bicicletas elétricas, com motorização, tipos de baterias e controladores variados. As bicicletas elétricas com tração nas duas rodas, também chamadas de 2WD, possuem algumas características como: tração aumentada, ideais para terrenos de difícil acesso, e, em caso de falhas pode-se utilizar somente um dos motores. Esse sistema possui duas grandes falhas, uma é o maior peso na estrutura e o outro é a baixa eficiência do sistema. Pensando nisso foi desenvolvido um conceito com foco na melhora da eficiência do sistema. Para tal foram feitas pesquisas de patentes de produtos, benchmarking de produtos, desenvolvimento e considerações finais.

Palavras-chave: Controle, acionamento, microcontrolador, motores, bicicleta elétrica.

Abstract: *This article discusses a proposal of a control and drive module for two motors applied on an electric bicycle. Electric traction has gained considerable ground in the transportation market thanks to a number of factors, focusing on energy efficiency and low emission of pollutants. There are several types of electric bicycle, with motorization, types of batteries and various controllers. Electric bicycles with two-wheel drive or also called 2WD have some characteristics such as: increased traction, making it easier on hard to reach terrain, in case of failures it is possible to use only one engine. This system has two major flaws, one is the largest weight in the structure and the other is the low efficiency of the system. With this in mind, a concept was developed with a focus on improving the efficiency of the system. To develop was done research of product patents, product benchmarking, development and final considerations.*

Keywords: *Control, drive, microcontroller, motors, electric bicycle.*

¹ Aluno do Curso de Pós Graduação Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <paranoids@gmail.com>

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, IFSC/Florianópolis <andre.fuerback@ifsc.edu.br>

³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica, IFSC/Florianópolis <joabel.moia@ifsc.edu.br>

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um tema muito discutido no cenário mundial, com governos buscando soluções para contornar o problema (GIRARDI, 2016). Veículos automotores convencionais são responsáveis pela emissão de grande parcela dos gases nocivos ao meio ambiente e ao ser humano (DRUMM et al., 2014). O emprego de novas tecnologias na fabricação de veículos vem de encontro à necessidade da redução de emissão dos gases poluentes.

Como o motor à combustão é um dos grandes emissores de poluentes (DRUMM et al., 2014),

veículos híbridos, que utilizam motor elétrico juntamente com outro à combustão e veículos elétricos têm o potencial de reduzir apreciavelmente a emissão de gases do efeito estufa e poluentes.

Veículos automotores elétricos de pequeno porte, como a bicicleta e/ou motocicleta, vêm ganhando muito espaço no mercado, por possuir baixo peso e tamanho, obtendo grande praticidade em mobilidade dentro dos grandes centros urbanos (TERRA, 2018). Por apresentarem sistemas elétricos, durante o funcionamento, reduzem a emissão de poluentes.

As bicicletas com 2 motores, ou 2WD (tração em 2 rodas) como são chamadas, possuem algumas

vantagens como: por possuir tração aumentada pode enfrentar melhor terrenos de difíceis acessos, como subida de montanhas e neve; possibilidade de utilizar somente um motor em caso de falha. As desvantagens são: gasto maior de energia devido ao segundo motor e peso no sistema, em terreno plano quando a bicicleta está em modo de cruzeiro o sistema é menos eficiente devido a gasto de energia com o controle e gerenciamento do segundo sistema (ENDLESS SPHERE, 2011). Visto que o maior problema do sistema de 2 motores é a eficiência energética, foi pensado em um sistema que melhorasse essa eficiência.

Essa ideia norteia o estudo que foi desenvolvido, ou seja, uma proposta de um módulo capaz de realizar o controle e acionamento de dois motores em bicicleta elétrica, visando melhorar as características, como a eficiência no controle e acionamento.

Para a realização do estudo foi feita uma pesquisa por patentes no INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual) e de produtos para benchmarking, aquisição de conceitos de motores de corrente contínua sem escovas (motores BLDC, do inglês *Brushless Direct Current*) e microcontroladores. Depois da análise de requisitos e conceitos foi possível desenvolver um projeto conceitual buscando uma base de custos e as considerações finais.

2 PROJETO CONCEITUAL DO PRODUTO

Para realização do projeto conceitual foram feitas pesquisas de patentes no INPI e benchmarking de produtos no mercado para buscar conceitos para o produto. Ainda, o DAELN/IFSC possui duas bicicletas elétricas para análise de motores e controladores utilizados, para melhor estudar o produto.

2.1 Pesquisa por acionamentos e controladores elétricos aplicados a mobilidade elétrica

Utilizando o banco nacional de processo de patentes buscando um produto concorrente, se não for encontrado seria importante produtos que sirvam como base para criar o conceito. Essa busca é necessária porque nem sempre vale criar um conceito ou um produto que já está feito e patentado.

Para realizar a pesquisa foi utilizado o banco de dados de patentes do INPI com as palavras chave: motores elétricos, acionamento de motores elétricos, controlador de motores elétricos, tração elétrico, tração elétrica, veículo elétrico, skate elétrico, e bicicleta elétrica.

Começando a analisar por motores elétricos, onde foi encontrado 171 processos de patentes, é possível observar: sistemas, aperfeiçoamento de

produção, métodos de montagem, construção e proteção, controle, e acionamento em diversos tipos de motores, como CA (corrente alternada) e CC (corrente contínua). Esses processos são para produtos eletrodomésticos, veículos automotores, barcos e etc. Acionamento de motores elétricos possui 13 processos que são de sistemas de acionamento, disposição construtivas, aperfeiçoamentos e etc.

Controlador de motores elétricos foram encontrados 3 patentes, onde se tem primeiro um controlador utilizando um CLP (controlador lógico programável) para o controle, o segundo um controlador para redução de consumo de diesel para trens, o terceiro um controlador utilizando modulador de frequência para corrente alternada.

Foram encontradas 30 patentes com a descrição tração elétrico, onde existe um número grande de: sistemas, métodos de construção, processos, atualizações, e dispositivos; sendo utilizadas para: veículos leves, esteiras, elevadores, guinchos, automóveis, etc.

Sobre tração elétrica foram encontradas 51 patentes, compreendendo: processos, métodos construtivos, atualizações, estruturas e etc. Esses processos abrangem aplicações envolvendo: veículos, geração de energia, máquinas elétricas, subestação e elevadores.

Com 321 patentes relacionadas a veículo elétrico, obteve-se a maior resposta na busca, encontrando diversos sistemas, métodos, atualizações, híbridos (elétrico e a combustão), diversos tipos de motores, carregadores para veículos, disposições de construção, geradores, etc.

Skate elétrico foi encontrado 2 patentes, apesar de encontrados são modelos de utilidade que não possuem muitos dados de projeto de controle e acionamento dos motores.

Com a descrição Bicicleta elétrica, foram encontradas 29 patentes, sendo de modelos de utilidade, métodos de construção, estilo de motorização e kits de conversão para uma bicicleta comum, etc.

Na tabela 1 é possível visualizar os dados obtidos na pesquisa junto com processos de patentes, e suas descrições. Os processos escolhidos vão de acordo com o necessário para o conceito final. Para o desenvolvimento é preciso saber dados de conversores, motores, acionamentos, baterias, bicicletas elétricas, métodos de montagem e disposição, esses processos selecionados possuem esses dados.

Tabela 1 – Dados de Pesquisa no INPI com temas correlatos a bicicleta elétrica.

Palavras Chave Na pesquisa	Quantidade de Processos de Patente Encontrados	Processos de Patentes Selecionados	Descrição do Processo de Patentes
Motores Elétricos	171	<i>“CONVERTOR ELETRÔNICO PARA ACIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS DE CORRENTE CONTÍNUA”</i>	Métodos utilizados para construção e desenvolvimento do conversor
Acionamento de Motores	13	<i>“SISTEMA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS SIMPLES E DUPLO COMANDO”</i>	Sistema utilizado para acionar dois motores
		<i>“SISTEMA DE ACIONAMENTO DUPLO PARA MOTORES ELÉTRICOS DE ALTA POTÊNCIA”</i>	Utilizado comutação suave para reduzir a alta corrente inicial com dois motores
Controlador de Motores Elétricos	3	-	-
Tração Elétrica	30	<i>“DISPOSITIVO ELÉTRICO DE TRACÇÃO PARA VEÍCULOS LEVES”</i>	Um produto capaz de controlar um motor elétrico para tracionar uma roda de bicicleta seja um triciclo ou normal
Tração Elétrica	51	<i>“DISPOSITIVO DE ALIMENTAÇÃO COM CORRENTE ELÉTRICA PARA MOTORES DE TRACÇÃO DE UM VEÍCULO”</i>	Dispositivo que utiliza conversor buck abaixador para alimentar motores elétricos para veículos urbanos ou suburbanos
		<i>“VEÍCULO APARELHO ESQUEITE COM TRACÇÃO ELÉTRICA POR BATERIAS”</i>	Veículo de transporte rápido com motor elétrico possuindo semelhança a um esqueite esportivo
Veículo Elétrico	321	<i>“DISPOSITIVO DE CONTROLE DE PROPULSÃO DE VEÍCULO ELÉTRICA”</i>	Controla dois inversores um CC-CC para carregar a bateria e outro CC-CA para acionar o motor
		<i>“APARELHO DE CONTROLE PARA CONTROLAR UM VEÍCULO ELÉTRICO”</i>	Controla veículos elétricos cujo os motores são acionados por inversores
		<i>“VEÍCULO ELÉTRICO INDIVIDUAL”</i>	Veículo de duas rodas com conversor CC-CC para acionar o motor
Skate Elétrico	2	-	-
Bicicleta elétrica	29	<i>“SISTEMA DE CONTROLE E MÉTODO DE CONTROLE PARA BICICLETA”</i>	Sistema e método para controle do motor elétrico na bicicleta
		<i>“BICICLETA ELÉTRICA”</i>	Conjunto de motor bateria e controlador para montar uma bicicleta elétrica
		<i>“EQUIPAMENTO DE MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA PARA BICICLETA”</i>	Consiste em um controlador que utiliza um conjunto de baterias para acionar um motor de roulete de fricção, e um com carregador para .
		<i>“BICICLETA ELÉTRICA MOVIDA A ENERGIA SOLAR FOTVOLTAICA”</i>	Através da energia fotovoltaica e um conversor CC-CC é possível carregar as baterias e um inversor para acionar o motor trifásico
		<i>“AJUSTE DE AUXÍLIO ELÉTRICO AUTOMATIZADO PARA UMA BICICLETA ELÉTRICA PARA PERDAS E GANHOS POR ELEVAÇÃO ”</i>	Ajuste para reduzir ou aumentar a utilização dos motores elétricos em auxílio ao usuário dependendo da grau de inclinação de subida ou descida

Grande parte dos processos no banco de dados INPI não está acessível pela internet, impossibilitando uma maior aquisição de dados para o desenvolvimento do projeto. Na pesquisa no banco de dados foram descartados vários processos por não ter dados importantes da parte de interesse do projeto e por ser somente patente de modelo de utilidade que não seria útil para o projeto proposto.

Os dados dos processos de patente analisados são de motorização utilizada em alguns veículos elétricos, tipos de conversores, dados de bateria, tensão, potência e corrente, apesar de não ser específico para o controlador a ser desenvolvido são dados que podem ajudar no desenvolvimento. Seguindo a pesquisa é possível observar que o uso de controlador para mais de um motor em bicicleta elétrica ou veículos leves não foi encontrado.

2.2 Benchmarking de Produtos

Buscando todos os tipos de controladores e acionadores utilizados em motores elétricos, para um levantamento de dados e métodos utilizados, foram encontrados algumas marcas e modelos que serão descritos na sequência. Ainda, será apresentado também dados do controlador da bicicleta elétrica da marca Eleeze disponível no IFSC e cedida como base de estudo.

Os primeiros controladores a serem analisados são da empresa Finlandesa Electromen Oy, que possuem controladores e drives de motores CC, CA e brushless CC em seu portfólio. Primeiramente será analisado um conversor da marca e depois conversores de outras fabricantes para fazer um comparativo com preços e funcionalidades.

Será analisado modelo de drives EM-437-48V, feito para controle e acionamento de motores CC *brushless*, visto na figura 1. Possui tensão de entrada de 24 a 48 V com limites de 15 a 60 V, e Corrente máxima contínua de 30 A operando a 50 °C de temperatura, ou 40 A com ventilação forçada, e 80 A por 2 s. O PWM opera a 16 kHz. Tem desligamento a temperaturas maiores que 90°C, e acionamento da ventilação forçada para temperaturas maiores que 65°C. Possui proteção de sobre tensão com limites selecionáveis de 15 a 65 V, e sobre corrente com limites de 1 a 100 A. Possui valor de 149,00 euros.



Figura 1 - Motor Drives EM-437-48V.
Fonte: (ELECTROMEN OY, 2018).

O controlador CC brushless possui uma porta para a unidade EM-236 que é a interface onde são realizados os comandos de controle, para fixar os valores de tensão, de corrente e os limites de temperatura. O produto citado é apresentado na figura 2. Seu custo é de 39,00 euros.



Figura 2 - EM-236 - Unidade de interface.
Fonte: (ELECTROMEN OY, 2018).

A seguir foram analisados os produtos da empresa chinesa KT, especializada na produção e venda de controladores eletrônicos, displays, sensores, especializados em veículos elétricos. Seus controladores podem ser customizáveis em tensão e corrente. Analisando o seu portfólio de produtos foi encontrado o controlador modelo KT 09S2, visto na Figura 3.

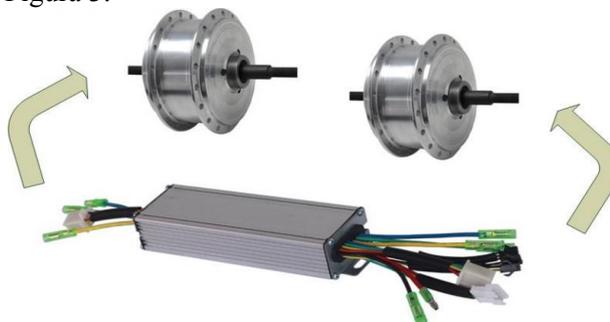


Figura 3 - Controlador KT09S2.
Fonte: (KT COMPANY, 2018).

Este controlador possui controle e acionamento para dois motores e pode operar com tensões de bateria 24 a 48 V, dependendo da bateria a ser utilizada, e corrente máxima de 17 A. A potência máxima de 816 W especificada, é dada para cada

um dos motores. Possui alguns recursos para proteção como: sobre e sub tensão, sobrecorrente, alta temperatura e água. Tensão, corrente e potência, necessidade ou não de sensor de efeito hall, podem ser customizados de acordo com o desejo do cliente.

Foi cotado diretamente com a empresa um controlador para dois motores de 350 W com tensão de bateria de 48 V, com sensor de efeito hall e proteção contra água, o preço oferecido foi de US\$ 125,00. Apesar de ser customizável como o fabricante anuncia, faltam muitas informações de qual nível de customização dos dados é possível realizar.

A terceira empresa analisada é a Kelly Controls, que possui sede nos EUA e produção na China. O portfólio de produtos é de controladores e seus periféricos para todos os tipos de veículos elétricos. O modelo escolhido para análise foi o KBL48101X, visto na Figura 4. Possui algumas especificações como: tensão de entrada de 18 a 90 V, dependendo da bateria que será utilizada; corrente de 60 A no modo contínuo, podendo em um limite de 1 minuto operar a 100 A, e 10 segundos 150 A; temperatura de trabalho de -30°C a 90°C, com desligamento em caso de exceder o limite de 100°C; frequência de funcionamento de 16,6 kHz. Possui proteções de sobre tensão e corrente, e as configurações são feitas por meio de programa pela porta serial.



Figura 4 - Controlador KBL48101X. Fonte: (KELLY CONTROLS, 2018).

A Figura 5 apresenta o controlador da bicicleta elétrica pertencente ao DAELN/IFSC usada como base para o produto, com tensão de 36 V e corrente máxima de 13 A, controlando um motor de 350 W. Possui proteção de subtensão menor que 31 V.

Mesmo com o modelo não foi possível encontrar mais especificações do produto.

Controller for brushless motor	
Rated voltage:	36V
Maximum current:	13A
Rated current:	6A
Low voltage protection:	31V
Throttle adjustment voltage:	1.2v-4.4v
Product number:	ESW940-24 X1310007551
Ex-factory date:	10 2013
CE:G3M20211-1592-16	

Figura 5 - Especificação do controlador da bicicleta elétrica pertencente ao IFSC. Fonte: Autoria Própria.

Para melhor visualização e análise dos dados a tabela 2 mostra as especificações destes controladores apresentados anteriormente, com preços e dados sobre grau de proteção.

No site ebikes é possível simular e comparar conjuntos de baterias, controladores e motores para bicicletas elétricas. Nessa simulação são obtidos dados como potência, autonomia, eficiência, velocidade final, temperatura, e etc. A simulação é mostrada em um gráfico, onde é possível selecionar cada ponto da curva, obtendo assim um valor em uma tabela. Para complementar o benchmarking de produtos, foi realizada a simulação de um sistema comercial de bicicleta elétrica com bateria de 48 V 12 Ah, motor de 500 W e controlador de 20 A e feita uma comparação com o mesmo sistema, visto na figura 6 (EBIKES, 2018). O objetivo dessa simulação é comprovar que a máxima eficiência do conjunto não é atingida onde se tem a máxima potência. Isso pode ser visto na simulação porque os dois pontos selecionados não se encontram. Apesar de ser uma diferença de eficiência na casa de 0,5% essa diferença na curva aumenta a autonomia do sistema em 9 km. Com isso, quanto maior a eficiência, menor o consumo de energia, tendo com isso aumento de autonomia da bateria. Com base nisso é de grande importância buscar um sistema com a maior eficiência possível.

Tabela 2 - Dados de drives e controladores de motores para aplicação em bicicleta elétrica.

Controladores CC Brushless	Tensão (V)	Corrente	Acionamento e controle de 2 motores	Preço	Grau de Proteção
EM-437-48V	24-48 V	80 A (50°C) – 100 A (25°C)	Não Possui	EUR 149,00	-
Controlador Bicicleta Analisada	36 V	13 A	Não Possui	-	-
KT 09S2	24-48 V	17 A	Possui	US\$ 125,00	Possui

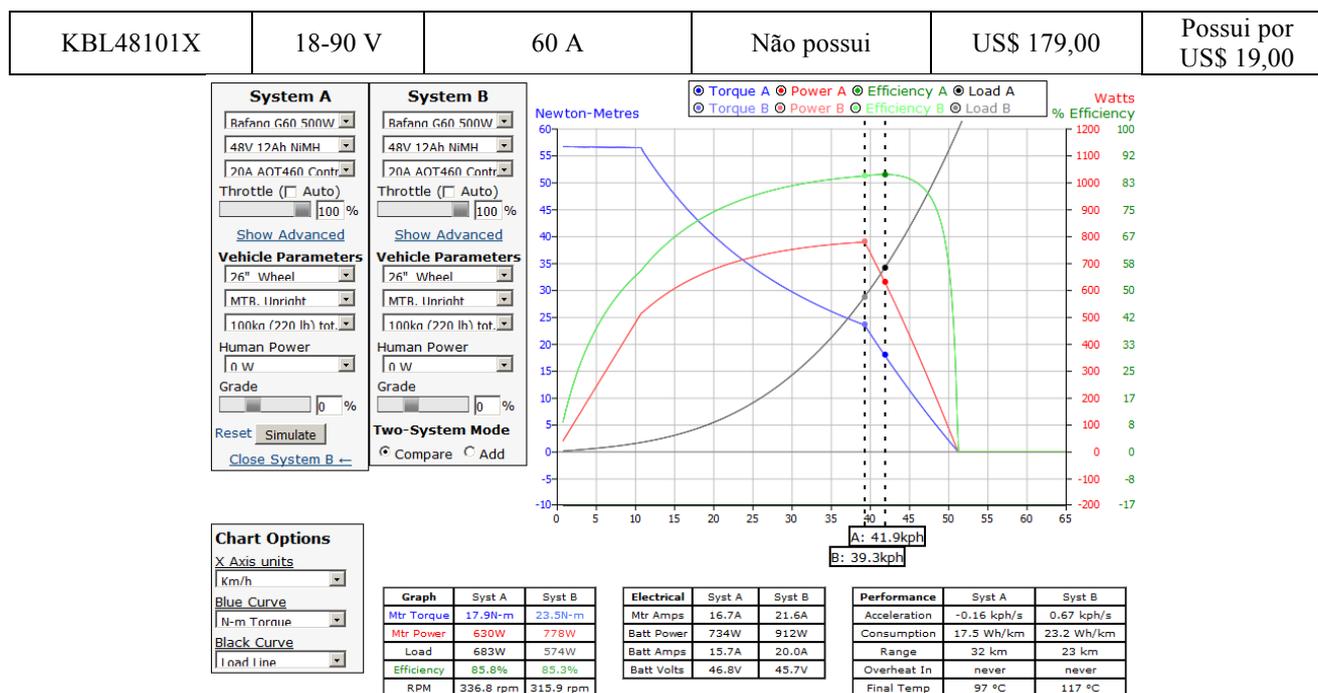


Figura 6 - Simulação de Sistemas.

Fonte: (EBIKES, 2018).

Conforme a análise apresentada, os controladores apresentam parâmetros variados, mas, os parâmetros que determinam a sua escolha são a tensão da bateria e potência do motor. Os preços também variam muito devido à qualidade, especificações, e características do produto. Por não possuírem grau de proteção, os controladores da Electromen Oy não possuem proteção contra as intempéries. Os controladores importados por serem em moedas estrangeiras ficam dependentes da cotação da moeda e dos impostos a serem adicionados. Além dos custos em moedas estrangeiras o transporte dos controladores também foi cotado, levando a um custo de US\$50,00 para os controladores da KT company, US\$34,00 para os controladores da Kelly Controls, e EUR\$50,00 Electromen Oy.

No benchmarking de produtos foram obtidos dados para o desenvolvimento do conceito como: sistemas de proteção, tipos de controladores, tensões e correntes utilizados, dados de ligações, mercado e preços. O único controlador que assemelha ao conceito proposto, devido ao controle de dois motores, é o da KT company, mas, como possui poucas especificações, não é possível saber se o controle é feito buscando a melhor eficiência do sistema, que é a necessidade do conceito a ser desenvolvido. Ainda assim, seus dados de especificações são de utilidade para ajudar na elaboração do conceito.

2.3 Estudo Sobre Bicicletas Elétricas

Bicicletas elétricas nada mais são do que bicicletas dotadas de um ou mais motores para

ajuda ou total tração do veículo. Apesar da recente popularização da tecnologia, internacionalmente têm-se as primeiras patentes datadas do século XIX. O mercado começou a crescer com novas tecnologias de baterias e de componentes eletrônicos. As bicicletas elétricas possuem algumas vantagens como: economia se comparado com carros ou motocicletas; não poluem como veículos a combustão; não pagam licenças ou impostos, como IPVA ou licenciamento anual; reduzem o esforço de uma bicicleta comum. No entanto, possuem algumas desvantagens como: necessidade de recarregar a bateria; a matriz energética utilizada para recarregar a bateria pode influenciar em ser um veículo de energia limpa ou não; se é consumida energia e se há geração de gases do efeito estufa no processo de fabricação dos elementos que compõem a bicicleta.

De forma simplificada, podem-se subdividir as bicicletas elétricas em dois tipos: as pedelecs, que tem sua motorização ativada somente quando o pedal é acionado pelo ciclista, ou seja, quando o ciclista está pedalando; as com acelerador, que tem opção de acionada com o pedal, somente pelo acelerador de mão ou uma combinação dos dois. Nos dois tipos a bicicleta é composta por: motor, bateria, controlador, acelerador, display de funções, pedal assistido (ECYCLE, 2018).

2.3.1 Motorização

Os motores em bicicletas elétricas são classificados em disposição e tipo. Na disposição dos motores, conforme figura 7, têm-se: em a, diretamente no cubo da roda, b, no movimento

central, ou c, na catraca. Essa disposição vai depender da construção da bicicleta. Os tipos de motores usados são de corrente contínua com ainda é possível utilizar dois motores um em cada cubo de roda (ENDLESS SPHERE, 2011).

2.3.2 Baterias

Existem diversos tipos de baterias, as mais utilizadas em bicicletas elétricas são de chumbo-ácido e as de íons de lítio. Baterias de chumbo-ácido tem ciclo de vida entre 200 e 300 recargas, possuem maior peso em comparação com as de lítio. As de íons de lítio possuem um ciclo de vida bem maior, chegando a 5 vezes das de chumbo-ácido. As baterias de íons de lítio necessitam de circuitos de proteção devido a risco de incêndio. Baterias de chumbo-ácido possuem custo menor se comparadas às de íons de lítio. As baterias podem ser dispostas na bicicleta, conforme a figura 9: em a, no rack traseiro, b no quadro, ou c no tubo interior. (BATTERY UNIVERSITY, 2017).

2.3.3 Controlador

O controlador tem a função de gerenciar o fluxo de energia da bateria, controlar e acionar o motor. Esse acionamento do motor vai depender do modo de condução que o usuário vai selecionar em conjunto com o tipo de acelerador a ser utilizado. Ele também tem a função de mostrar, em um display, informações como: velocidade, quantidade de energia na bateria, distancia até acabar a energia armazenada na bateria, distancia percorrida, além de mostrar, para seleção, os modos de condução do motor (SCHÖRNER, 2013).

2.3.4 Acelerador



Figura 8 - Configuração da motorização da bicicleta elétrica: - a) Motor no Cubo de roda; b) Motor no Movimento Central; c) Motor na Catraca. Fonte:(SCHÖRNER, 2013).



Figura 9 - Configuração da bateria na bicicleta elétrica: - a) Rack traseiro; b) No quadro; c) Tubo inferior. Fonte: (SCHÖRNER, 2013).

escovas ou sem escovas (SCHÖRNER, 2013). Além das disposições tradicionais das bicicletas

Os aceleradores de bicicletas elétricas podem ser divididos em 3 tipos, com ou sem assistência do pedal e um híbrido com os dois tipos. Na figura 10 é possível observar os 2 tipos: em a, os aceleradores com assistência que possuem sensores, sejam de giro na parte central ou traseira; os aceleradores que funcionam a partir de uma ação do ciclista em b, seja do polegar ou da mão (SCHÖRNER, 2013).

2.3.5 Sistema de recarga da Bateria

Como as baterias de íons de lítio e chumbo ácido possuem características diferentes, o mesmo pode ser aplicado para o método de carregamento. Então para escolher o carregador é preciso saber o tipo de bateria para então escolher a tensão a ser carregada. Grande parte das bicicletas possui bateria removível, onde existe a necessidade do carregador externo ao controlador (STA ELETRÔNICA, 2018). Na figura 7 observa-se a foto, de maneira ilustrativa, um carregador de bateria.



Figura 7 - Carregador de Bateria. Fonte:(SCHÖRNER, 2013).



Figura 10: - a) Aceleradores por sensor; b) aceleradores de ação.
Fonte: (SCHÖRNER, 2013).

2.3.6 Display

É necessário mostrar os dados adquiridos e modos de seleção durante a condução da bicicleta, para isso existe o display. Os dados mostrados normalmente são: quilometragem percorrida parcial e total, nível de energia da bateria, velocidade atual e média. Junto com os dados é possível fazer seleções para modo de condução com os níveis de assistência do motor, e quais medidas a serem utilizadas como velocidade(kph e mph) e distancia(km ou mi) (TUCANO BIKES, 2018). Na figura 11 tem-se um display da empresa espanhola Tucano Bikes, que trabalha no desenvolvimento de bicicletas elétricas desde 2004.



Figura 11 - Display de funcionalidades.
Fonte: (TUCANO BIKES, 2018).

2.3.7 Mercado e regulamentação

Segundo pesquisa o mercado mundial de bicicletas elétricas pode atingir 38 milhões de vendas em 2020, com 89% desse valor na China. Na figura 12 observa-se o cenário de vendas do mercado mundial de bicicletas elétricas no mundo de 2013 a 2020 (ABVE, 2018).

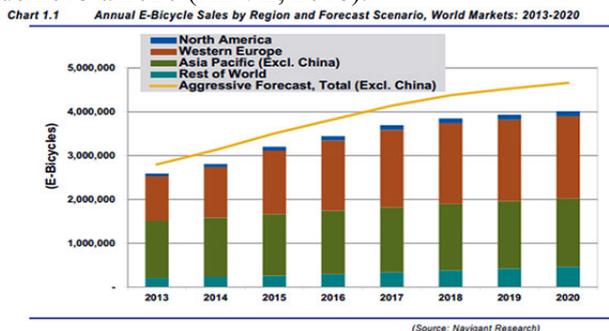


Figura 12 - Vendas e Estimativas de vendas de Bicicletas elétricas.

Fonte: (ABVE, 2018).

Na tabela 3 é possível observar a demanda de bicicletas elétricas, com a potência, velocidade, e

tipo de sistema, com maior procura pelo consumidor (ABVE, 2018).

Tabela 3 - Demanda Regional No Mercado Mundial.
Fonte: (ABVE, 2018).

Region	Top Speed	Electric Motor Size	Other Requiriments
United States	< 20 mph (< 32 kph)	Max 750 W	Has operating pedals
Canada	< 20 mph (< 32 kph)	Max 500 W	Vehicle weighs less than 120 kg, has operating pedals
Western Europe	< 15.5 mph (< 25 kph)	Max 250 W	Motor operates during pedaling only (pedelecs)
Eatern Europe	< 15.5 mph (< 25 kph)	Max 250 W	Has operating pedals, some markets require motors only operates during pedaling
China	< 12.4 mph (< 20 kph)	No Limit	Has operating pedals, 40 kg max weight
Rest Of Asia Pacific	< 15.5 mph (< 25 kph)	Max 250 W	Has operating pedals
Latin America	< 15.5 mph (< 25 kph)	Max 250 W	Has operating pedals
Midle East	< 15.5 mph (< 25 kph)	No Limit	Has operating pedals
Africa	< 15.5 mph (< 25 kph)	No Limit	Has operating pedals

O mercado nacional possui diversos fabricantes e montadores de bicicletas elétricas como: Caloi, Sense, Eleeze, Verde Bike, Bio Bike, General Wings, Lev, Vela Bikes, Woie, etc (SOUZA, 2017). Em termos de valores, as bicicletas elétricas podem atingir o custo de R\$2.806,96 a R\$6.590,00 (AMERICANAS, 2018).

Na legislação nacional foi aprovado pelo Contran (Conselho Nacional de Trânsito) na resolução 465 de 27 de novembro de 2013 que, as bicicletas elétricas são equiparadas com as comuns desde que sejam respeitadas as seguintes condições vistas na figura 13 (CONTRAN, 2013).

§ 3º Fica excepcionalizada da equiparação prevista no caput deste artigo a bicicleta dotada originalmente de motor elétrico auxiliar, bem como aquela que tiver o dispositivo motriz agregado posteriormente à sua estrutura, sendo permitida a sua circulação em ciclovias e ciclo faixas, atendidas as seguintes condições:

- I – com potência nominal máxima de até 350 Watts;
- II – velocidade máxima de 25 km/h;
- III – serem dotadas de sistema que garanta o funcionamento do motor somente quando o condutor pedalar;
- IV – não dispor de acelerador ou de qualquer outro dispositivo de variação manual de potência;
- V – estarem dotadas de:
 - a) indicador de velocidade;
 - b) campainha;
 - c) sinalização noturna dianteira, traseira e lateral;
 - d) espelhos retrovisores em ambos os lados;
 - e) pneus em condições mínimas de segurança.
- VI – uso obrigatório de capacete de ciclista.

Figura 13 - Condições Para Bicicleta Elétrica.

Fonte: (CONTRAN, 2013).

As bicicletas elétricas que não atenderem essas condições entram na resolução anterior 315 de 8 de maio 2009, considerando as bicicletas elétricas com potência de até 4.000 W e velocidade máxima de 50 km/h ciclomotores, tendo a necessidade da carteira de habilitação A para motos ou a ACC (autorização para conduzir ciclomotor) do condutor (SCHÖRNER, 2014).

3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Realizando análise de processos de patentes e benchmarking de produtos semelhantes foi possível chegar ao desenvolvimento deste conceito.

Foram escolhidos motores do tipo BLDC devido a sua maior eficiência e robustez comparado com um motor convencional CC com escovas (CODY et al., 2009). Este tipo de motor é largamente utilizado em bicicletas elétricas e outros veículos elétricos (DREHER, ROSA, 2014).

Para entrar na resolução 465 do Contran foram escolhidos dois motores BLDC de 250 W, onde será controlada a potência nominal do conjunto para atingir os 350 W e a velocidade de 25 km/h. Outros motivos que pesaram na escolha foram que esses motores possuem a menor potência no mercado de bicicletas elétricas, menor tamanho, peso e custo. Apesar de a soma do conjunto ser 500 W, sua potência será limitada em 350 W através do controlador. Como a potência do conjunto é mais baixa, busca-se a redução dos custos dos componentes a serem utilizados no controlador. Foi escolhida a faixa de tensão da bateria de 36 a 48 V, devido a grande parcela de baterias para motores de 250 W serem entre essa faixa.

Tendo em vista isso, foi desenvolvido um conceito de controlador para dois motores BLDC, buscando sempre a maior eficiência do conjunto e utilizar frenagem regenerativa para aumentar a autonomia. Na figura 14 pode ser visto um diagrama de blocos do sistema proposto de acionamento da bicicleta elétrica.

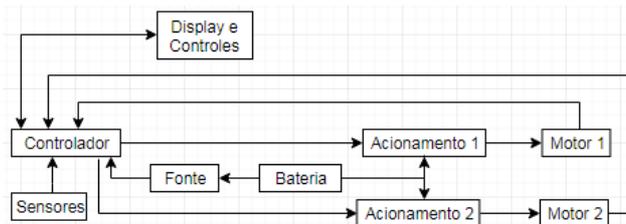


Figura 14 - Diagrama de Blocos proposto de acionamento da bicicleta elétrica.

Fonte: Autoria própria.

3.1 Controlador

O bloco controlador irá receber dados dos motores como velocidade de giro, tensão e corrente de funcionamento, tensão e corrente da bateria, e dados dos sensores na bicicleta como de velocidade e acelerador, seja com ou sem assistência. Através do sensor do tipo hall será possível analisar dados dos parâmetros do motor. Ao analisar os dados recebidos ficará possível determinar o melhor controle dos motores. Além dos dados recebidos será possível alterar parâmetros do controlador como: modos de operação dos motores e tipo de medidas utilizadas no display como quilômetros ou milhas.

O controle eletrônico pode ser realizado por microprocessadores, DSP (processador de sinal digital), FPGA (Arranjo de Portas Programáveis em Campo), um chip controlador com lógica de controle específica, e microcontroladores. Foi escolhido o microcontrolador, já que ele possui o menor custo e pode realizar o controle necessário para o conceito.

Ao buscar base para montar o sistema foi encontrado um application note da Texas Instruments onde é montado um controlador de bicicleta elétrica com todo o sistema. Esse application note utiliza o MSP430 como microcontrolador para realizar o controle. Para realizar o controle de dois motores é necessário um número de 12 canais de PWM (modulação por largura de pulso) não sendo possível a utilização do MSP430. Com isso o microcontrolador a ser empregue no produto proposto é o TMS320F280049, da série Piccolo da Texas Instruments, apesar de ser diferente, possuindo maior processamento e quantidade de periféricos, é possível utilizá-lo na mesma aplicação. Possui 21 canais de conversor AD (análogo digital) e 16 canais de PWM. Para o desenvolvimento do software que fará o controle/acionamento dos motores, pode-se empregar no TMS320F280049 o código de programação em C, baseado na teoria de controle e atuar nos circuitos inversores por meio da modulação PWM, sendo que o controle vai depender dos parâmetros adquiridos durante o uso.

3.2 Acionamento dos Motores BLDC

Para acionar um motor BLDC é necessário um circuito de acionamento. Grande parte dos motores BLDC utilizados em veículos elétricos é trifásico. Para iniciar a rotação do motor é necessário aplicar uma tensão de forma sincronizada nos enrolamentos do estator. Essa sincronização só é possível graças ao sensor hall que vai indicar a posição que este se encontra, identificando qual enrolamento precisa ser energizado em sequência. O circuito de acionamento escolhido foi inversor bidirecional trifásico a dois níveis, visto na figura 15a. Observe-se, na figura 15b, o sentido da corrente do acionamento, onde tal conversor é utilizado para acionar cada fase dos enrolamentos do estator (CODY et al., 2009).

O controle de acionamento das chaves será realizado pelo controlador através da modulação PWM, com a leitura do sensor Hall de posição do rotor. Para o controle/acionamento de dois motores de forma independente, é necessário dois circuitos inversores idênticos, um para cada motor. Na figura 16 observa-se a tensão resultante do inversor aplicada aos enrolamentos do estator. Como a tensão do PWM do microcontrolador é baixa, será necessário um driver para acionar os interruptores do conversor.

Para realizar o acionamento foi escolhido o CI (circuito integrado) DRV8332, visto na figura 17a, da Texas Instruments, que além da função das chaves também possui a função de driver. A escolha também se baseou na redução de chaves e drivers em um só componente, deixando menor o tamanho da placa de circuito impresso final. Na figura 17b observam-se as especificações do CI que atendem a necessidade de acionamento do motor. Na figura

17c tem-se um esquemático com os componentes necessários para o acionamento, junto com a ligação do microcontrolador. Como cada CI realiza o acionamento de um motor fica necessário dois CIs, um para cada motor. O microcontrolador necessita utilizar de 6 canais de PWM para controlar as chaves do CI e duas portas onde serão feitas leituras do CI, como falhas no acionamento e problemas de aquecimento.

3.3 Frenagem Regenerativa

Para não se desperdiçar a energia durante a frenagem, os veículos elétricos utilizam métodos para armazenar essa energia. Com a regeneração de energia da frenagem é possível aumentar a autonomia de um veículo elétrico em 15% (DREHER, ROSA, 2014). No modo “frenagem regenerativa” é utilizado o mesmo circuito, mas a estratégia de acionamento é outra. Como a tensão gerada pelo motor é alternada e a bateria possui tensão contínua, é necessário um método de conversão de energia. Essa conversão acontece em 2 estágios, primeiro visto na figura 18a, onde a energia gera uma corrente que é armazenada no enrolamento do estator o utilizando como indutor, e segundo, figura 18b, onde essa energia armazenada é aplicada a bateria. Isso tudo é feito pelo controlador, onde é detectada a utilização do freio, sendo necessária a mudança de estratégia de acionamento dos motores. Existem outros meios de frenagem, mas esse utiliza os mesmos componentes do acionamento reduzindo peso e custo (CODY et al., 2009). Quantidade de energia gerada pela frenagem vai depender da velocidade da bicicleta, quanto mais rápida maior a energia gerada (DREHER, ROSA, 2014).

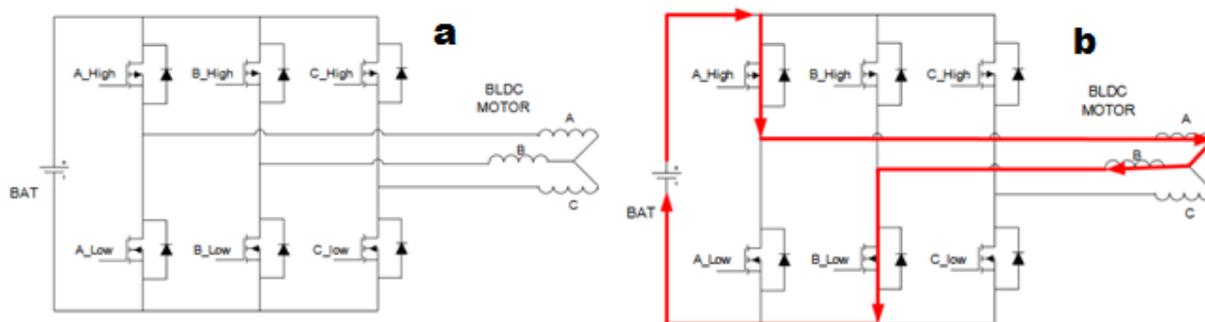


Figura 15: – a) Circuito de Acionamento do motor; b) Sentido da corrente no circuito.
Fonte: (CODY et al., 2009).

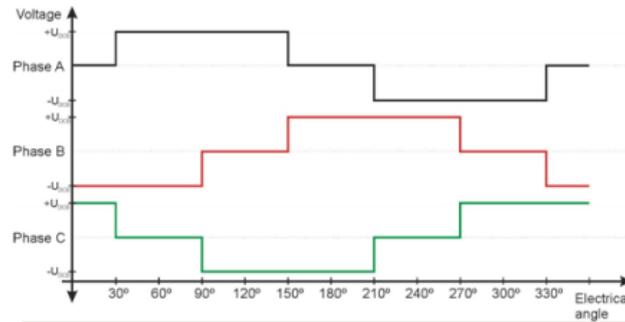


Figura 16 - Tensão Aplicada ao Motor.
Fonte: (NXP, 2010).

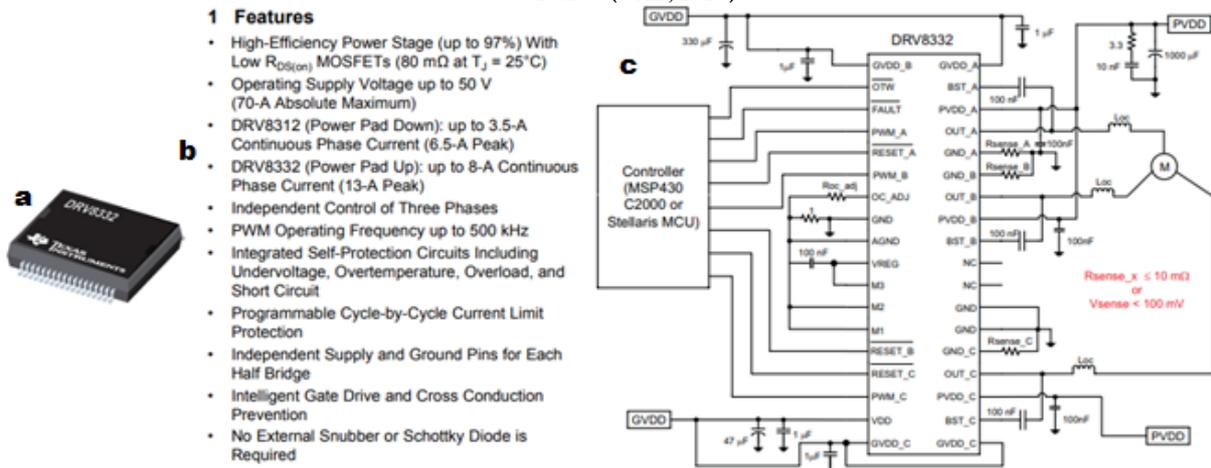


Figura 17: -a) DRV8332; b)Especificações; c)Esquemático.
Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

asa

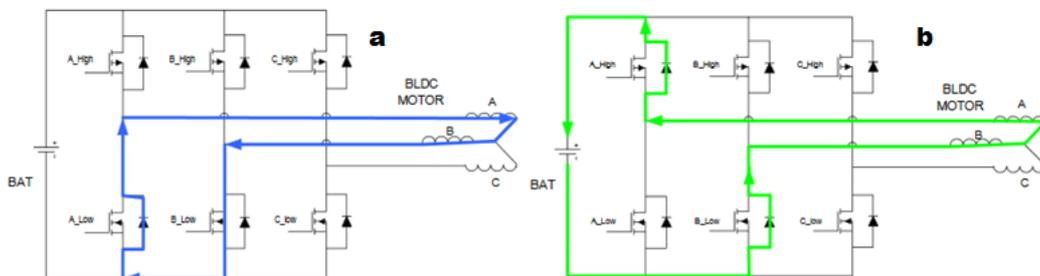


Figura 18: - a) Corrente Modo Armazenamento no Estator; b) Corrente Modo Carregamento Bateria.
Fonte: (CODY et al., 2009).

3.4 Display e Controles

Existe a necessidade de mostrar os dados para o usuário analisar e selecionar o melhor modo de condução. Para melhor visualização e facilidade foi pensado no desenvolvimento de uma interface para o celular seja, Android ou iOS, por meio de um aplicativo a ser desenvolvimento que poderá ser adquirido na loja de aplicativos dos sistemas operacionais. Na figura 19a é possível observar a disposição de ícones da interface proposta e na 19b visualizações de algum erro do sistema. O aplicativo se comunicará através do Bluetooth do celular, trocando informações com o controlador. O módulo Bluetooth escolhido para aplicação foi o CC2564MODN, visto na figura 20a, da Texas Instruments. Suas especificações atendem

plenamente a necessidade do sistema. Na figura 20b observa-se o diagrama de blocos funcional.

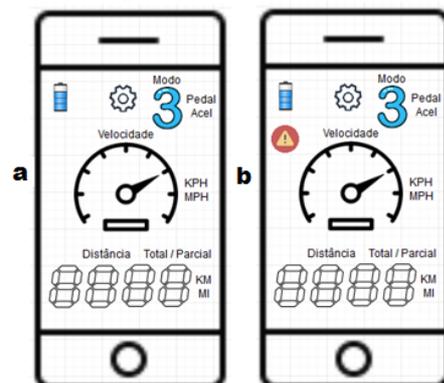


Figura 19: - a) Display proposto no projeto do acionamento; b) Aviso de erro.
Fonte: Autoria Própria.

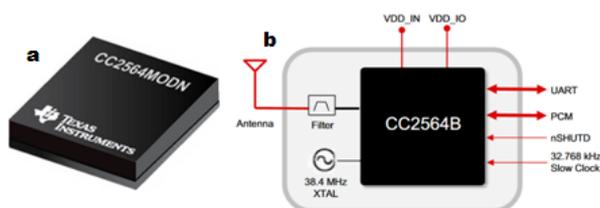


Figura 20 - a) CC2564MODN; b) Diagrama de Blocos. Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

3.5 Modos de Condução da Bicicleta Elétrica

Será possível a utilização de quatro modos de condução: desligado, 1, 2 e 3; todos somente pedalando com auxílio, uma vez que a resolução do Contran não permite acelerador. Na figura 21 é possível observar o fluxograma do modo de condução. Todos os modos poderão utilizar um ou dois motores, a depender da demanda do usuário por força, tendo limite máximo de potência de 350 W. No modo 1 será priorizada energia da bateria

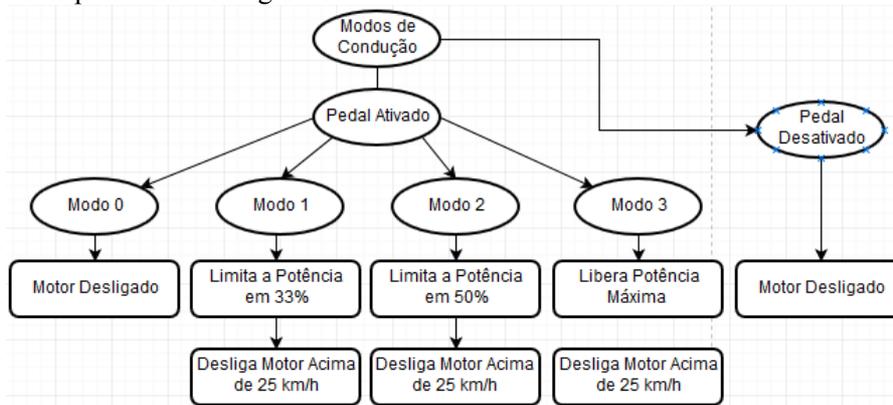


Figura 21 - Fluxograma Modo de condução. Fonte: Autoria Própria.

3.6 Proteções

O projeto prevê proteções contra sub e sobre tensão na bateria e sobre corrente no sistema, em caso de necessidade é feito o desligamento do motor ou do sistema e um aviso será mostrado ao usuário no display. Os limites são para sub tensão de 31 V e sobre de 50 V, sobre corrente acima de 13 A. Na figura 25a é possível observar o circuito que verifica a tensão sobre a bateria e aplica o sinal no AD do microcontrolador. Os cálculos vistos na figura 25b são feitos por meio de uma planilha disponibilizada pelo fabricante (TEXAS INSTRUMENTS, 2018). Para chegar nesses resultados é preciso conhecer algumas grandezas, tais como: tensão de entrada mínima e máxima, tensão de saída mínima e máxima, tensão de referência e a resistência do resistor R1. Foi atribuído os seguintes valores: tensão de entrada Vin1 0 V, Vin2 50 V, tensão de saída Vo1 0,1 V, Vo2 3 V, tensão de referência Vref 3,3 V, resistor R1 10 kΩ. Com isso foi obtido um ganho de 0,058, os resistores R2 634 Ω e R3 19,1 kΩ. As tensões aplicadas ao AD do microcontrolador são entre 0,1

utilizando 33% de potência, o modo 2 utilizará 50%, e no modo 3 os motores poderão ser utilizados em potência máxima, sempre buscando a melhor eficiência para o sistema.

Para não sobrecarregar o sistema em uma subida ao detectar necessidade por potência, o sistema vai para o modo 2 ou 3 automaticamente e voltando para o modo que estava selecionado quando não houver mais a necessidade. Esses modos são de auxílio onde o motor vai ser somente acionado junto com o pedal através do sensor. Chegando a uma velocidade de 25 km/h o auxílio do motor é desligado, voltando a ser acionado sempre que estiver abaixo.

Não havendo comunicação com um celular através do aplicativo o controlador é ativado modo normal ao pedalar.

a 2,991. Para análise de corrente temos um sensor que verifica corrente no motor e na bateria, aplicando o sinal ao conversor AD. O CI DVR8332 também possui uma proteção contra temperatura maiores do que 125° C realizando seu desligamento nesses casos. Para realizar a medição da tensão da bateria será feito uma ligação em um condicionamento de sinal.

3.7 Fonte Auxiliar

Como microcontrolador, sensores e os CIs DRV8332 necessitam de tensão de 3,3 V, 5 V e 12 V respectivamente. Desta forma é necessário utilizar um circuito abaixador de tensão. Para isso foi utilizado o CI TPS54360 da Texas Instruments, um circuito dedicado para comandar um conversor abaixador de tensão. Na figura 22a observa-se a imagem do encapsulamento do CI e em b seu esquemático simplificado. Será preciso dois TPS54360, um para cada nível de tensão.

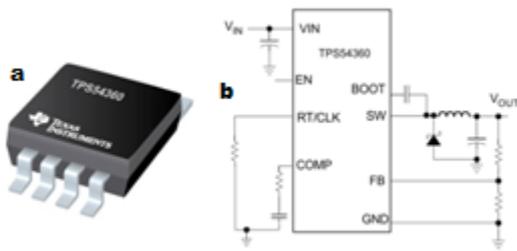


Figura 22: - a) TPS54360; b) Esquemático simplificado.
Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

3.8 Sensores

O controlador necessita monitoramento de alguns parâmetros como: velocidade, distância, corrente da bateria e motor, posicionamento do motor, freio e pedal. Para cada um desses parâmetros foi utilizado um sensor específico.

Para o sensoriamento da posição do motor foi utilizado o sensor hall SS360NT, visto na figura 27a, da marca Honeywell. Na figura 27b têm-se as especificações do sensor e na 27c o diagrama de blocos. O sensor de efeito hall vai dentro do motor e são necessários 3 sensores para cada motor.

O sensor utilizado para medir a corrente do motor e a bateria foi o ACS720KLATR-35AB-T da fabricante Allegro, visto na figura 23, pode fazer a leitura de correntes de até 35 A. Esse sensor faz a leitura da corrente e envia um sinal de tensão variável de acordo com a corrente. Como a tensão enviada do sensor para o microcontrolador é menor que 3,3 V não é necessário um condicionamento de sinal.

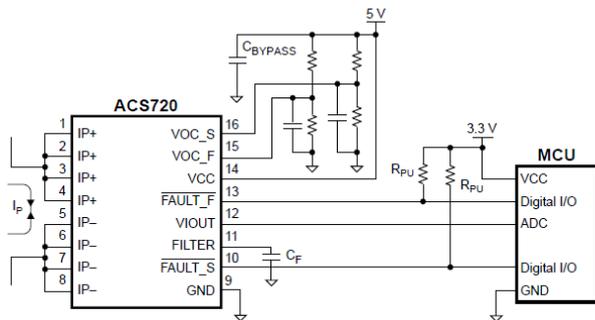


Figura 23 - Sensor de Corrente ACS720KLATR-35AB-T.
Fonte: (ALLEGRO, 2018).

O sistema de freio também possuirá um sensor, já que é necessária esta variável para ativar a frenagem regenerativa. O sensor utilizado foi o do sistema de freio de fio escondido foi o MS-BK-1F da fabricante Minshine, visto na figura 28a. Ao pressionar o freio o cabo se desloca ativando o sensor que envia um sinal com uma tensão.

Os controles de aceleração serão por acionamento do sensor do pedal, visto na figura

28b, um sensor magnético que identifica a movimentação do pedal. Na movimentação do pedal, quanto maior a velocidade de acionamento do pedal maior será o auxílio do motor, mas sempre limitando as potências de acordo com os modos ativados e a velocidade em 25 km/h. Existe também o sensor por torque para acelerador, que seria melhor aplicado no conceito, mas o seu custo elevado acabou inviabilizando.

Na figura 24, observa-se o sensor de velocidade e distância da empresa KT Company, um sensor magnético.



Figura 24 - Sensor de Velocidade e distância BS2.
Fonte: (KT COMPANY, 2018).

3.9 Condicionamento de Sinal

Como microcontrolador utiliza tensão de 3,3 V e as tensões provenientes dos sinais dos sensores podem chegar de 5 a -5 V, é necessário utilizar um circuito para condicionar os sinais. O circuito apresentado na figura 25 é o mesmo usado para leitura da tensão da bateria, mas com valores alterados para as tensões dos sensores. Foram atribuídos os seguintes valores: tensão de entrada $V_{in1} = -5$ V, $V_{in2} = 5$ V, tensão de saída $V_{o1} = 0,01$ V, $V_{o2} = 3$ V, tensão de referência $V_{ref} = 3,3$ V, resistor $R1 = 10$ k Ω . Com isso foi obtido um ganho de 0,299, os resistores $R2 = 6.490$ Ω e $R3$ 12,1 k Ω . As tensões aplicadas ao AD do microcontrolador estão entre 0,025 e 2,995 V. Esse condicionamento de sinal é utilizado 1 para cada sensor.

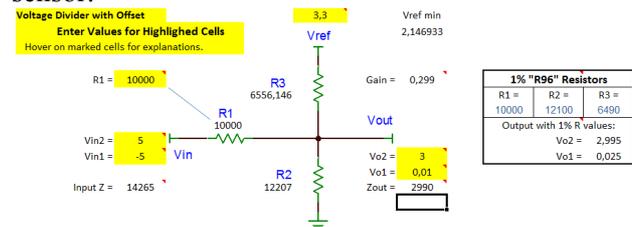


Figura 25 - Circuito Condicionador de Sinal.
Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

3.10 Fluxograma Código C

Para obter um código C final é preciso primeiro desenvolver um fluxograma. Nas figuras 29 e 30 é possível observar um fluxograma do conceito. Foi dividido blocos, como main, proteção, aciona motor, verifica modo e display.

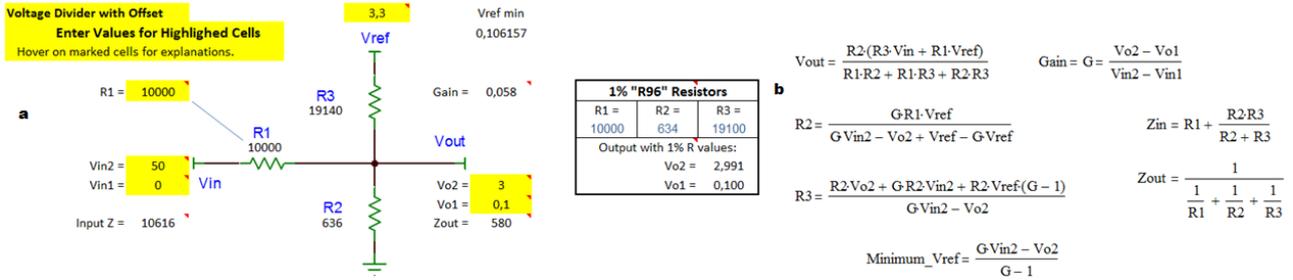


Figura 26: - a) Circuito para Verificar Tensão na Bateria; b) Cálculos Realizados.
Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2018).

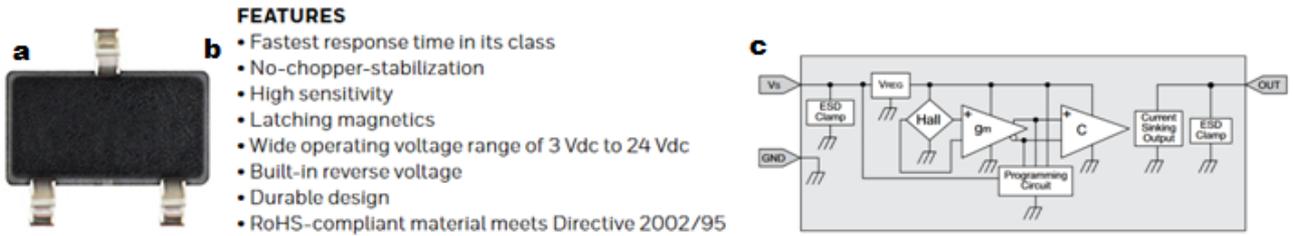


Figura 27: - a) SS360NT. b - Especificações. c - Diagrama de Blocos
Fonte: (HONEYWELL, 2018).

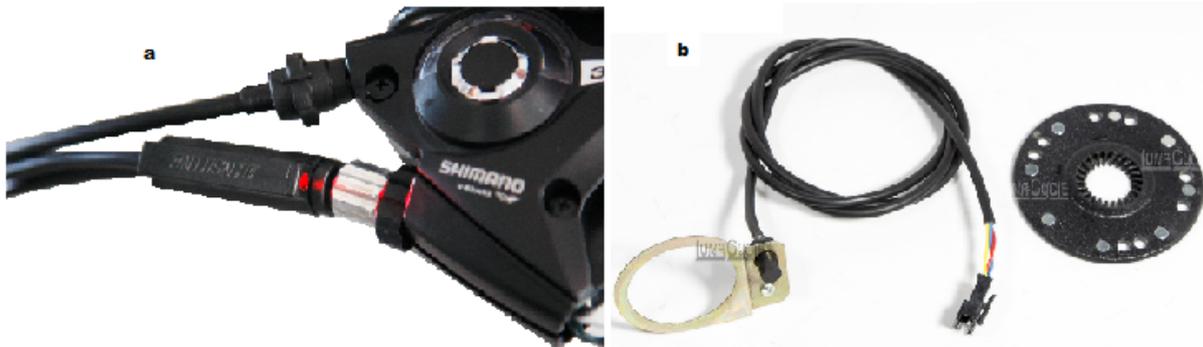


Figura 28a) Sensor de freio; b) Sensor de pedal.
Fonte: a - (GREENBIKEKIT, 2018). b - (LUNACYCLE, 2018).

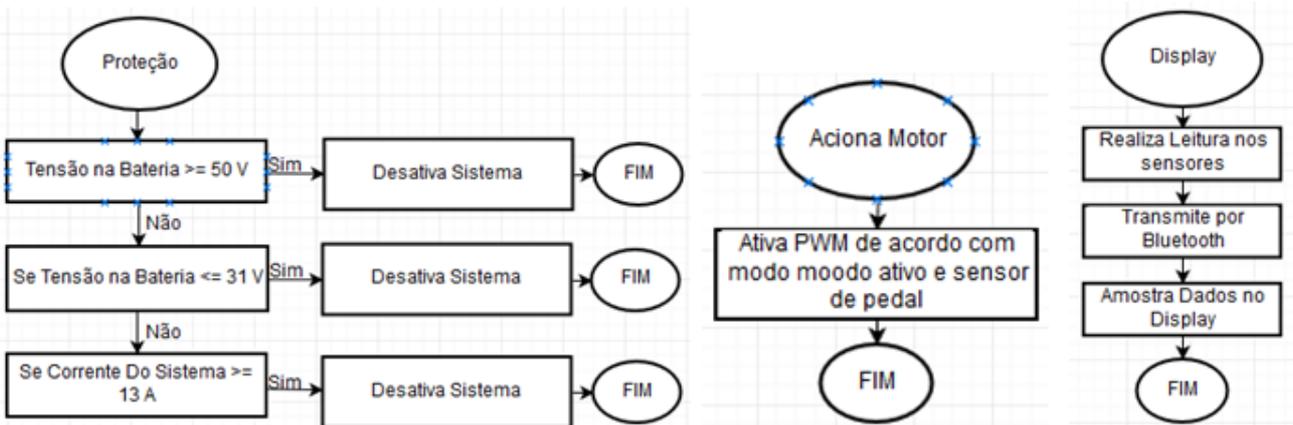


Figura 29 - Fluxograma Código C Parte 1.
Fonte: Autoria Própria.

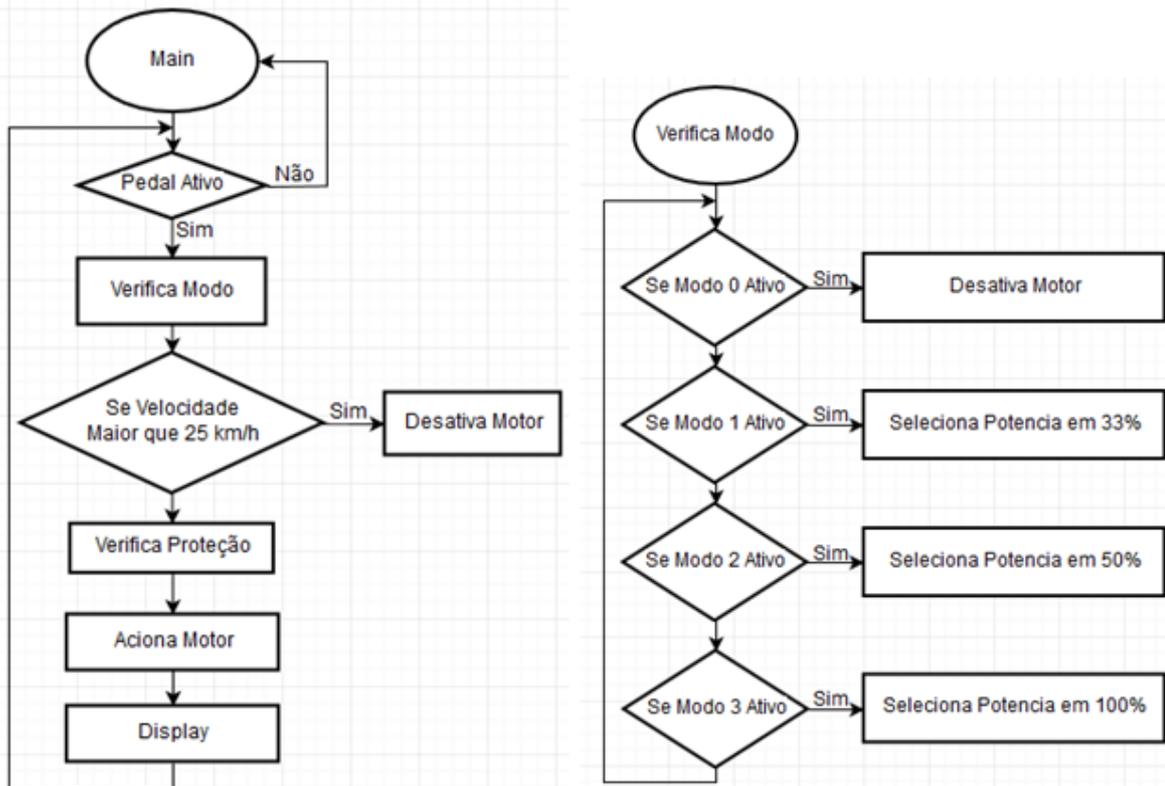


Figura 30 - Fluxograma Código C Parte 2.
Fonte: Autoria Própria

3.11 Ligações e Montagem

As conexões normalmente são feitas com cabos conectados diretamente nos controladores, mas se existir algum problema, é necessária a troca destes através de resoldagem ou troca do módulo controlador inteiro. Com base nisso, o controlador

vai utilizar as conexões de maneira modular, caso ocorra algum problema no chicote será necessária somente a substituição do mesmo. Na figura 31 observa-se o diagrama final com os componentes escolhidos.

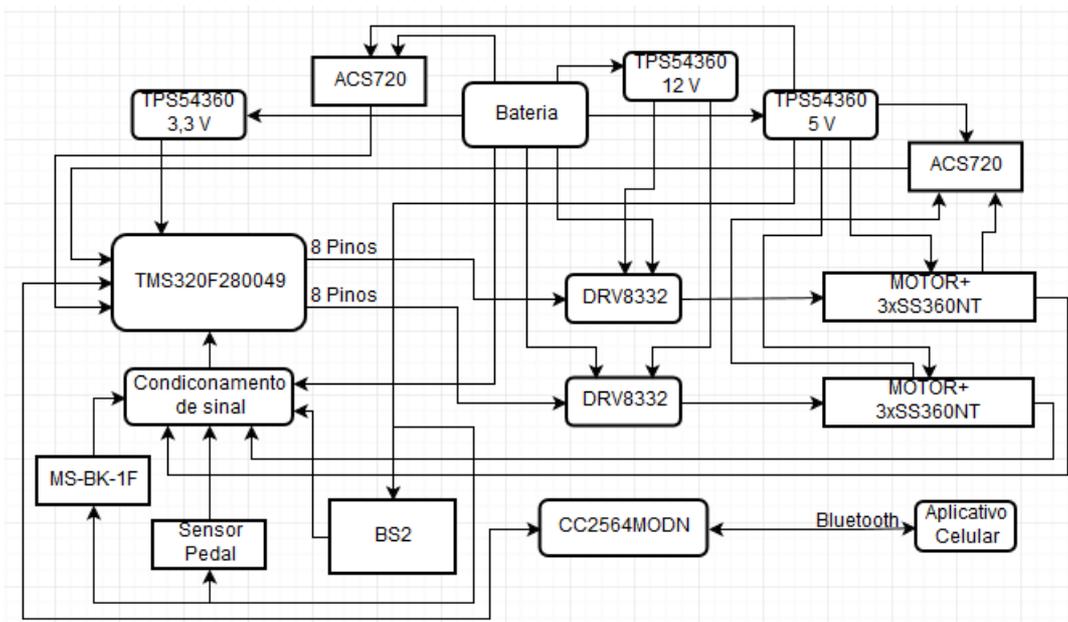


Figura 31 - Diagrama Final com Componentes Escolhidos.
Fonte: Autoria Própria.

3.12 Case

Baseando no tamanho do controlador KT 09S2, que seria um concorrente direto, foi escolhido a case AWN16-9-28, do fabricante TAKACHI ELECTRONICS ENCLOSURE, para acondicionar todo o sistema proposto. Essa case conta com uma proteção IP67 que segundo a norma IEC60529, é proteção total contra poeira e imersão em 1 m de profundidade de água por até 30 minutos. Na figura 31 tem-se a imagem do case em alumínio. O case tem em suas dimensões 27,5 cm de comprimento, 15,6 cm de largura e 8,1 cm de altura. O tamanho de case pode aumentar ou diminuir sendo só possível chegar em case final ao desenvolver o protótipo.



Figura 32 - AWN16-9-28.

Fonte: (TAKACHI ELECTRONICS ENCLOSURE, 2018).

3.13 Análise de custos

Foi levantado o custo de todos os componentes selecionados, visto na tabela 3. Esse valor encontrado está longe do valor final de custo de produto, pois ainda faltam: custo do case, placa de circuito impresso, outros componentes como resistores, capacitores, soldagem e montagem. Esse valor ainda é menor, para comparação, que os US\$ 125,00 do controlador de dois motores da KT, mas, possivelmente o custo supere esse valor ao se adicionar o restante dos componentes. Uma alternativa para redução dos custos é realizar a produção do produto na China onde existe a possibilidade de redução nos custos seja de componente ou soldagem e montagem. Mesmo superando o valor do controlador concorrente, esse conceito pode ser atrativo devido as funcionalidades. Para conseguir calcular totalmente os custos seria necessário desenvolver um protótipo. Os valores mostrados abaixo são para a quantidade dos itens necessários para a montagem de um protótipo. Para produção final esses valores devem ser reduzidos, devido ao preço menor para maiores quantidades.

Tabela 4 - Preços Componentes.

Fabricante	Produto	Cotado Onde	Qn t	Preço (USD)
Texas Instruments	TMS320F280049	DIGIKEY	1	8,39
Texas Instruments	DVR8332	MOUSER	2	19,68
Texas Instruments	TPS54360	MOUSER	3	12,60
Texas	CC2564M	MOUSER	1	10,37

Instruments	ODN			
Honeywell Sensing	SS360NT	MOUSER	6	7,26
Cyclone	Pedal Assist	LUNA CYCLE	1	12,95
Minshine	MS-BK-1F	ALIEXPRESS	1	9,00
Allegro	ACS720K LATR-35AB-T	DIGIKEY	5	28,45
KT Company	Bs 2	ALIBABA	1	8,00
Total				116,70

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando todo o estudo realizado até agora a bicicleta elétrica ainda é o meio de transporte com boa relação com o meio ambiente devido a sua baixa emissão de poluentes. Com as vendas de bicicletas elétricas aumentando exponencialmente a cada ano, vários tipos são lançados com muitas características diferentes. As bicicletas 2WD possuem maior facilidade de transitar em terrenos com difícil acesso, e maior robustez por possuir dois motores, podendo utilizar somente um em caso de problemas. Essas bicicletas ainda possuem como desvantagens problema de baixa eficiência, devido ao sistema usar dois motores, gerando um peso maior ao conjunto, aumentando o consumo de energia. As bicicletas de dois motores, em sua maior parte, utilizam um controlador para cada motor deixando o gerenciamento de cada motor separado.

Com base nesse problema foi desenvolvido o conceito de um módulo capaz de controlar dois motores de forma eficiente. Como visto na simulação, os motores não são eficientes na máxima potência. Visto isso um conjunto com dois motores é possível ser mais eficiente que um. O conceito foi baseado no preceito de eficiência e na resolução 465 do Contran. Foi utilizado o microcontrolador TMS320F280049 para realizar o controle sobre dois inversores bidirecionais trifásicos que acionam os motores de forma independente e regeneram a energia em uma frenagem. Esse controlador utiliza os dados adquiridos para melhorar a eficiência do sistema. Todos os dados e modos são mostrados no display através de um celular com aplicativo.

Com a escolha dos componentes foi possível ter uma breve estimativa de custo chegando aos US\$ 116,70. Essa análise foi feita com os principais componentes, deixando de lado resistores capacitores, porque possuem valor baixo. Mas para chegar em um custo total seria necessário desenvolver um protótipo.

Esse sistema foi desenvolvido de forma conceitual baseado em todos os estudos realizados e comparações com produtos no mercado. Essa ideia tem grande chance de se tornar um produto, devido a necessidade de melhora da eficiência.

Para desenvolver o produto final e sair de um conceito seria necessário desenvolver um protótipo, realizar testes, levar o protótipo para testes com usuários de todos os tipos e analisar os dados obtidos para assim colocar o produto no mercado.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer o departamento de eletrônica e todos os professores pelo ensino desde a graduação em especial ao professor Joabel por me orientar, o professor André por me coorientar. Ainda, ao professor Cláudio e ao DAELN, por ceder as bicicletas para desenvolver o projeto conceitual, e a minha família e amigos por dar sempre suporte.

REFERÊNCIAS

ABVE (Associação Brasileira do Veículo elétrico). **Revista Bicicleta** Disponível em: <http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta_noticia.php?&id=14111>. Acesso em: 23/04/2018.

ALLEGRO. Disponível em: <<https://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS720.aspx>>. Acesso em: 23/04/2018.

AMERICANAS. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br>>. Acesso em 23/04/2018.

BATTERY UNIVERSITY. 21/03/2017. Disponível em: <http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery>. Acesso em: 23/04/2018

CODY, Jarrad; GÖL, Özdemir; NEDIC, Zorica; NAFALSKI Andrew; MOHTAR Aaron. **Regenerative Braking in a Electric Vehicle**. University Of South Australia, 2009 Disponível em: <http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/81/ref_20.pdf>. Acesso em: 23/04/2018.

CONTRAN. **Resolução N°465**. 27/11/2013. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/Resolucao4652013.pdf>> Acesso em: 23/04/2018.

DREHER, Jacson Rodrigo; ROSA, Arthur Da. **Frenagem Regenerativa Aplicada em Motores Brushless DC Utilizados em Veículos Elétricos**. In: 4º SEMINÁRIO DE PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO DO IFSC. Chapecó, 2014.

DRUMM, Fernanda Caroline; GERHARDT, Ademir Eloi; FERNANDES, Gabriel D'avila;

CHAGAS, Patrícia; SUCOLOTTI, Mariana Scheffer; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. **Poluição Atmosférica Proveniente Da Queima De Combustíveis Derivados Do Petróleo em Veículos Automotores**. Santa Maria, 01 de abril de 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/download/10537/pdf>>. Acesso em: 23/04/2018.

EBIKES. **Motor Simulator** Disponível em: <<http://www.ebikes.ca/tools/simulator.html>>. Acesso em: 23/04/2018.

ECYCLE. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/41-pegue-leve/2849-bikes-eletricas-historia-mercado-expansao-motor-caracteristicas-vantagens-praticidade-pedalar-trabalho-limitacao-fisica-custo-economia-acelerador-integrado-separado-solar-movimento-beneficios-problemas.html>>. Acesso em: 23/04/2018.

ELECTROMEN OY. Disponível em: <<https://electromen.com/en/>>. Acesso em: 23/04/2018.

ENDLESS SPHERE. 03/11/2011 Disponível em: <<https://endless-sphere.com/forums/viewtopic.php?f=2&t=33429>>. Acesso em: 23/04/2018.

GIRARDI Giovana. **Países chegam a acordo global para reduzir gases de efeito estufa**. São Paulo 15 de outubro de 2016. Disponível em: <<http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,paises-chegam-a-acordo-global-para-reduzir-gases-de-efeito-estufa,10000082355>>. Acesso: 23/04/2018.

GREENBIKEKIT. Disponível em: <<https://www.greenbikekit.com/hidden-wire-brake-sensor.html>>. Acesso em: 23/04/2018.

HONEYWELL Disponível em: <<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-latching-digital-hall-effect-sensor-ic-datasheet-ss360nt-ss360st-ss360st-10k-ss460s-ss460s-t2-32312441-c-en.pdf>>. Acesso em: 23/04/2018.

INPI. Disponível em: <<https://gru.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>>. Acesso em: 23/04/2018.

KELLY CONTROLLERS. Disponível em: <<http://kellycontroller.com/kbl48101x24v-48v100ablde-controllerwith-regen-p-54.html>>. Acesso em: 23/04/2018.

KT COMPANY. Disponível em: <http://www.szktzd.com/en/news_show.php?article_id=523>. Acesso em 23/04/2018.

NXP. **BLDC Motor Control with Hall Effect Sensors Using the 9S08MP**. 04/2010 Disponível em: < <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN4058.pdf>>. Acesso em: 23/04/2018.

SCHÖRNER, Anderson Ricardo. Bicicletas Elétricas. 15/01/2013 Disponível em: < http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?bicicletas_eletricas&id=2331>. Acesso em: 23/04/2018.

SCHÖRNER, Anderson Ricardo. **Agora é Oficial - Contran Regulamenta Bicicletas Elétricas. No Brasil**. 06/05/2014. Disponível em: <http://www.revistabicicleta.com.br/bicicleta.php?agora_e_oficial_contran_regulamenta_bicicletas_eletricas_no_brasil&id=4513>. Acesso em: 23/04/2018.

SOUZA Gustavo. Bicicleta Elétrica. 12/11/2017. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/bicicleta-eletrica/#Kits_para_turbinar_sua_bicicleta_convencional>. Acesso em: 23/04/2018.

STA ELETRÔNICA. Disponível em: < <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-de-litio-ion>>. Acesso em: 23/04/2018

TAKACHI ELECTRONICS ENCLOSURE. Disponível em: <http://www.takachi-enclosure.com/data/p_10heatsink.html>. Acesso em: 23/04/2018.

TERRA. **Bicicletas elétricas como meio de transporte e lazer**. 06/04/2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/bicicletas-eletricas-como-meio-de-transporte-e-lazer,c39b7e5ddfc59fef139a3615df92af6biautwwfx.html>>. Acesso: 23/04/2018.

TEXAS INSTRUMENTS. Disponível em: <www.ti.com>. Acesso em: 23/04/2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **Hardware Design Considerations for an Electric Bicycle Using a BLDC Motor**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/slva642/slva642.pdf>>. Acesso em: 23/04/2018.

TEXAS INSTRUMENTS. **Handy Gadgets and Resistor Divider Calculations**. Disponível em: <http://e2e.ti.com/blogs_/archives/b/thesignal/archive/2013/05/13/handy-gadgets>. Acesso em: 23/04/2018.

Tucano Bikes. Disponível em: <<http://www.tucanobikes.com/display-bicicleta-eletrica-tucano.ws>>. Acesso em 23/04/2018.