

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VICTOR GUILHERME ESTEVES DOS SANTOS MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DE
DIFERENCIAL CENTRAL AUTOMOTIVO**

MEDIANEIRA

2021

VICTOR GUILHERME ESTEVES DOS SANTOS MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DE
DIFERENCIAL CENTRAL AUTOMOTIVO**

Development of a controller for an automotive central differential system

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Me. Edson Andreoli

Coorientador(a): Prof. Me. Guilherme Natsurato
Descrovi Nabeyama

MEDIANEIRA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VICTOR GUILHERME ESTEVES DOS SANTOS MORAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR PARA UM SISTEMA DE
DIFERENCIAL CENTRAL AUTOMOTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29/novembro/2021

Edson Andreoli
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Guilherme Natsurato Descrovi Nabeyama
Mestrado
Fundação Parque Tecnológico de Itaipu

Alexandre Victor Casella
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2021

RESUMO

Nos dias atuais os automóveis não são definidos apenas como artigos de luxo, eles são objetos de trabalho e de lazer para muitas pessoas, com essas novas funcionalidades dos automóveis a segurança dos passageiros é algo muito importante na compra de um veículo. Neste trabalho foi desenvolvido um controlador eletrônico para diferencial central automotivo, a função do controlador é coordenar a distribuição de torque entre os eixos das rodas de um automóvel, trazendo assim maior estabilidade ao dirigir. Foram abordados neste trabalho sistemas embarcados, técnicas de controle por modelagem de pulso e controle de tração. Este controlador tem sua operação em modo manual e foi desenvolvido com componentes eletrônicos de baixo custo e com o intuito de ser customizável pelo usuário.

Palavras-chave: Eletrônica de Potência; Controle Eletrônico; Energia Elétrica.

ABSTRACT

Nowadays, automobiles are not defined only as luxury items, they are objects of work and leisure for many people, with these new characteristics of automobiles, passenger safety is something very important when purchasing a vehicle. In this work, an electronic driver for central automotive differential was developed, the controller's function is to coordinate the distribution of torque between the axles of the wheels of an automobile, thus bringing greater stability when driving. Embedded systems, control techniques for pulse modeling and traction control were stored in this work. This controller operates in manual mode and was developed with low-cost electronic components and with the intention of being common by the user.

Keywords: Power Electronic; Electronic Control; Electrical Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Engrenagens Epiciclica de um Diferencial	16
Figura 2 - Representação do princípio de funcionamento do conjunto diferencial	17
Figura 3 – Botão que aciona a opção 4WD do automóvel	18
Figura 4- Representação de um Sistema Eletrônico de Controle de Tração	20
Figura 5 – Sistema de Brake	22
Figura 6 – Representação de pulsos de um PWM	24
Figura 7 - Diferencial blocante.....	26
Figura 8 - Arduino Nano	26
Figura 9 – Característica do Arduino Nano	27
Figura 10 - Modulo MOSFET	28
Figura 11 - Botão e Potenciômetro.....	29
Figura 12 - Display Arduino OLED 0.96” I2C.....	29
Figura 13 – Modo de operação do Controlador.....	31
Figura 14 – Esquemático do sistema	33
Figura 15 – Fluxograma da lógica aplicada ao controlador.....	34
Figura 16 - Simulação do PWM.....	35
Figura 17 - Simulação PWM e Display I2C	36
Figura 18 - Simulação PWM utilização de LED	36
Figura 19 – Esquemático de ligação das componentes	38
Figura 20 – (a)LM7805 (b) Ligação LM7805	38
Figura 21 - Máscara circuito impresso	40
Fotografia 1- Medidas elétricas diferencial	32
Fotografia 2- Circuito impresso parte Superior	41
Fotografia 3 - Circuito impresso parte inferior	41
Fotografia 4- Sinal PWM sem carga.....	42
Fotografia 5 - Sinal PWM com carga e filtrado	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de alimentação do diferencial	25
Tabela 2 – Característica Modulo MOSFET	28
Tabela 3 – Sensores	33
Tabela 4 - Componentes e suas características de projeto	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Diferencial	15
2.2	Controle de tração.....	18
2.3	Sistemas embarcados em automóveis.....	21
2.4	Modulação por largura de pulso	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	Materiais	25
3.1.1	Diferencial	25
3.1.2	Arduino	26
3.1.3	Módulo MOSFET	27
3.1.4	Potenciômetro e botão ON/OFF	28
3.1.5	Display.....	29
3.1.6	SENSORES	30
3.1.7	Software	30
3.2	Métodos	31
3.2.1	Modo de operação.....	31
3.2.2	Medidas elétricas do diferencial	31
3.2.3	Sensores	32
3.2.4	Programação do Arduino.....	33
3.2.5	Projeto e simulação do controlador em software.....	35
3.2.6	Projeto do circuito impresso	37
3.3	RESULTADOS	39
4	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas vem sendo o crescente uso da tecnologia em automóveis, essas tecnologias têm com função o conforto e a segurança dos seus ocupantes. As legislações dos países têm impulsionado cada vez mais a segurança no meio automotivo; enquanto o conforto tem sido buscado pelos usuários no trajeto do dia-a-dia.

Em automóveis atuais pode ser encontrado várias telas, sensores, circuitos eletrônicos, atuadores e outros componentes que são instalados com o intuito de facilitar o contato do motorista com as ações do carro durante um trajeto e também conectar os ocupantes do automóvel com o mundo exterior (NAVET, 2009).

Os vários sensores contidos nos carros têm a função de captar diversas informações durante um trajeto, esses sensores enviam os sinais para sistemas microcontrolados que processam os sinais elétricos e decidem uma ação a ser tomada de forma a manter a integridade do veículo e dos seus ocupantes (SALÃO DO CARRO, 2014).

As tecnologias mais importantes para segurança do automóvel e dos passageiros são o sistema de estabilidade e controle de tração, esses sistemas evitam que o motorista perca o controle do carro sobre qualquer circunstância de instabilidade que possa ocorrer durante a ação de um automóvel (PAGLIARINI, 2018).

A principal função do controle de tração é de analisar a velocidades das rodas separadamente para evitar que o automóvel perca a aderência com o solo, por isso esse controle trabalha juntamente com o sistema freio, após o controle reconhecer uma diminuição da aderência de uma das rodas ele pode interferir diretamente na frenagem do automóvel ou na alimentação de combustível do motor para diminuir a velocidade, evitando um acidente por falta de contato das rodas com o solo (AGUIAR, 2018). Neste trabalho foi desenvolvido um controlador eletrônico para um diferencial central automotivo que tem como função controlar o fechamento das engrenagens de um diferencial blocante. A função do diferencial é controlar a tração nas rodas através do fechamento das suas engrenagens para que o automóvel mantenha o torque necessário para que a roda não rode em falso.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um controlador eletrônico para diferencial central automotivo, a operação do controlador deverá ser em modo manual utilizando tecnologia acessível no mercado e possuir característica de ser customizável possibilitando ao usuário utilizar este sistema embarcado em diversos cenários.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos descritos abaixo são propostos para que o objetivo geral possa ser alcançado:

- Desenvolver em software o circuito eletrônico do controlador em modo de operação manual e a programação do controlador;
- Desenvolver o circuito impresso do circuito eletrônico do controlador no software escolhido e construir a placa impressa de acoplamento do circuito eletrônico da operação em modo manual;
- Validar o controlador de acordo com as características elétricas do diferencial bloqueante escolhido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, abordando os conceitos de diferencial automotivo, controle de tração, sistemas de embarcados automotivos e modulação por largura de pulso.

2.1 Diferencial

O conjunto diferencial de um automóvel tem como função a transmissão de energia no eixo acionado pelo motor para os eixos das rodas, a finalidade da transferência de energia é o fornecimento de torque do motor para as rodas mesmo quando ambas as rodas estão operando com velocidades diferentes. (LATHAN, 1999)

O mecanismo diferencial em funcionamento relaciona duas variáveis de velocidades entre eixos distintos fazendo assim a compensação de torque necessária para se obter uma saída definida, geralmente são mecanismos com dois graus de liberdade. (RATTAN, 2009)

A compensação através do diferencial na rotação das rodas é feita de duas formas conhecidas, a primeira compensação ocorre entre as rodas internas e externas durante as curvas e a segunda forma de compensação de tração ocorre em veículos 4-Wheel Drive (4WD); automóveis 4WD possuem a capacidade de alternar sua tração de 4x2 para 4x4 de modo manual ou automático de acordo com a necessidade do automóvel de se manter em contato com solo através de uma distribuição de torque. (BOSCH, 2002)

O diferencial é formado de engrenagens epiciclica conforme a Figura 1, que possui como característica dois graus de liberdade, permitindo que as duas rodas traseiras do automóvel mantenham a mesma velocidade em linha reta e possibilitando que ambas as rodas tenham velocidades distintas em curvas. Denominando o diferencial como adicionador ou subtrator de deslocamento angulares. (RATTAN, 2009)

Figura 1– Engrenagens Epiciclica de um Diferencial



Fonte: Mecânica Industrial (2012)

A velocidade diferencial é considerada 100% em uma reta, porém quando o automóvel faz uma curva o diferencial distribui 90% para a roda interna que possui menor velocidade e 110% para a roda externa que possui maior velocidade isso implica na estabilidade do automóvel, evitando que o automóvel deslize as rodas ou saia de sua rota natural. (LATHAN, 1999)

A seguir a Figura 2 apresenta o princípio de funcionamento do conjunto diferencial:

S = Eixo acionado pelo motor

A = Pinhão de chanfro que conecta o eixo do motor ao diferencial

B = Pinhão de chanfro conecta o diferencial ao eixo do motor

S1 = Eixo Traseiro Esquerdo

S2 = Eixo Traseiro Direito

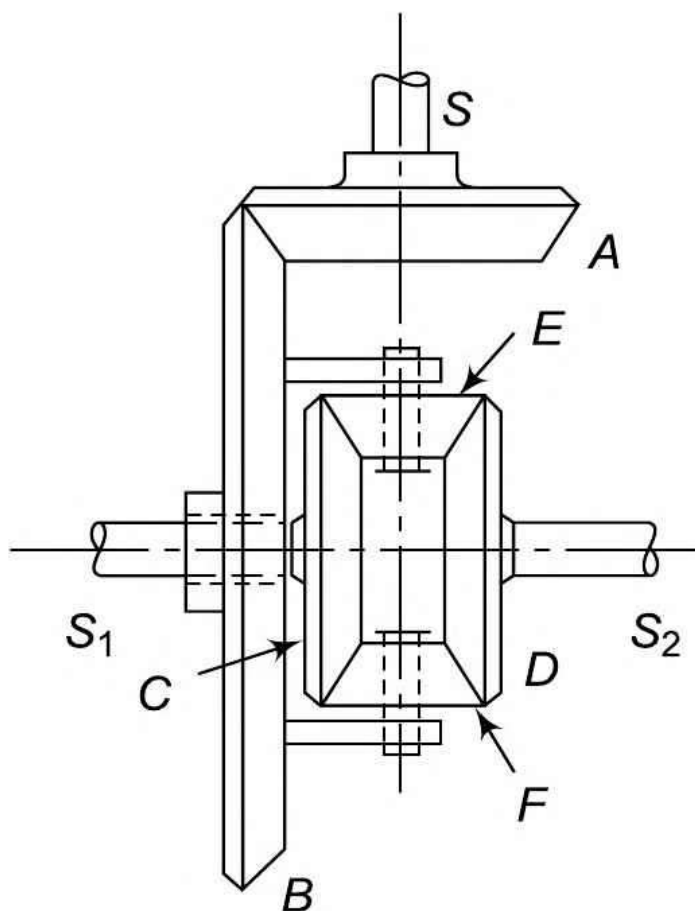
C = Engrenagem chaveada em S1

D = Engrenagem chaveada em S2

E = Engrenagem superior

F = Engrenagem inferior

Figura 2 - Representação do princípio de funcionamento do conjunto diferencial



Fonte: RATTAN (2009)

O automóvel ao percorrer uma reta, faz com que o pinhão de chanfro A acione o pinhão de chanfro B, fazendo com que as engrenagens C e D tenham a mesma velocidade do pinhão B. As engrenagens E F são acionadas para transmitir a mesma velocidade de C em D. Porém E F não giram em torno de seus eixos. Quando há uma curva E F giram em seus eixos funcionando assim com uma engrenagem epicíclica, interferindo na velocidade distribuída entre os eixos C e D. (RATTAN, 2009)

2.2 Controle de tração

Tração é definida como um ato de puxar ou movimentar um corpo através de eixos, cordas ou correias, ou seja, em um automóvel as rodas são movimentadas ou tracionadas através do eixo do motor que ligado as engrenagens do diferencial transmitem movimento aos eixos das rodas. (WEBMOTORS, 2020).

Existem três tipos de tração conhecidas no mercado automobilístico, o primeiro tipo é a tração 4x2 que é quando o motor do automóvel transmite energia pra um eixo só, fazendo o carro possuir tração em duas rodas das quatro existentes. O segundo tipo é o All Wheel Drive (AWD) conhecido também com tração integral, onde o motor transmite sua energia para os dois eixos do automóvel de forma igual fazendo que as quatro rodas do automóvel trabalhem sempre com o mesmo torque. O terceiro tipo é o Four Wheel Drive (4WD) também conhecida como tração nas quatro rodas, o 4WD permite ao motorista controlar a tração de cada um dos dois eixos separadamente de acordo com sua necessidade, podendo variar de uma configuração de tração de 4x2 onde um eixo só é tracionado a uma configuração AWD onde os dois eixos são tracionados (QUATRO RODAS, 2017).

Figura 3 – Botão que aciona a opção 4WD do automóvel



Fonte: Quatro Rodas (2018)

O tipo de tração 4WD é controlado por um controlador eletrônico, este sistema eletrônico possibilita ao motorista controlar os dois eixos do automóvel

separadamente. O controlador pode ser acionado por intermédio de um botão com na Figura 3 ou por meio de um potenciômetro no console do automóvel.

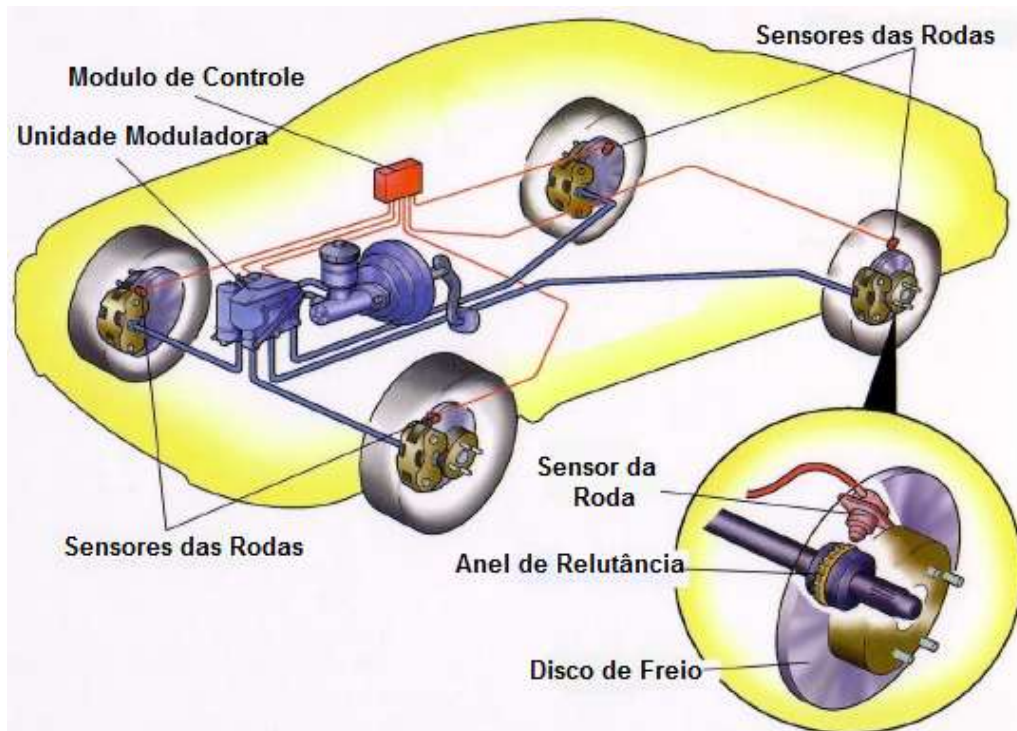
O sistema de controle de tração possui duas funcionalidades, o primeiro é o controle longitudinal que comanda a tração evitando o escorregamento das rodas traseiras, a segunda funcionalidade é o controle lateral que comanda o ângulo de direção, evitando a perda de velocidade entre as rodas e o automóvel em uma curva (HORI; TOYODA; TSURUOKA, 1997).

Quando o automóvel está em movimento consideramos a atuação de duas forças, temos força motriz longitudinal e força motriz lateral. Essas forças são dependentes da taxa de escorregamento (HORI; TOYODA; TSURUOKA, 1997).

Segundo (BOSCH, 2002) o escorregamento das rodas acontece quando o torque excede a resistência ao atrito, esse fenômeno é eliminado aplicando travamento no diferencial ou fricção positiva, porém, esse método de controle vem sendo abandonado pois estressa demais o diferencial em curvas e a ação de travamento depende da velocidade aplicada ao automóvel, por esse motivo esses sistemas automáticos vêm sendo substituídos por sistemas eletrônicos que aplicam o controle de trajeto.

O controle de tração é um sistema de grande importância na segurança dos automóveis, pois esse sistema melhora o controle e a manobrabilidade dos automóveis reduzindo ou eliminando as derrapagens e escorregões que podem acontecer durante a movimentação (WIT, 1998).

Figura 4- Representação de um Sistema Eletrônico de Controle de Tração



Fonte: Adaptado de DEJUN (2009)

Há três métodos de controle de tração de um automóvel, primeiro método é o controle do motor que trabalha na diminuição de combustível, ignição da combustão e corte do suprimento de ar para que haja uma redução de torque no motor. O segundo método é o controle de freio (Figura 4), tem resposta mais rápido agindo diretamente na frenagem do automóvel, porém deve ser utilizada somente com o controle do motor para evitar aquecimento nos componentes dos freios. O terceiro método é o controle de trajeto, onde o torque do pneu que está sofrendo o escorregamento transfere-se para o pneu antiderrapante para que ocorra o controle do automóvel, técnica aplicada com o controle de motor (HORI; TOYODA; TSURUOKA, 1997).

Em automóveis de competição de altas velocidades ou em uma urgência no dia-a-dia, ao acelerarmos rapidamente ou frearmos bruscamente notamos que ambas as ações provocam o escorregamento das rodas, sendo isto um grande problema para nossa segurança, pois o automóvel acaba perdendo a aderência com o solo e posteriormente o motorista perde o controle da direção. Quando tratamos de frenagem o sistema de controle de tração entra em ação junto ao sistema de freios que é o sistema de ABS (Anti-Lock Braking System), agindo em primeiro plano o sistema de ABS em seguida entra o sistema de tração para manter o torque

necessário nas rodas, isso mantém os níveis de escorregamento dentro de um nível aceitável (BOSCH, 2002). O sistema no qual será desenvolvido nesse trabalho é o sistema de tração por controle de trajeto, a sua vantagem em relação aos outros sistemas é que ele possui a capacidade de distribuir o torque de tração em cada de acordo com o terreno e previne a perda de aderência nas rodas de forma mais eficaz que os outros sistemas. É um sistema completo, pois pode utilizar conjuntamente o sistema de controle de freio e motor associado para dar maior segurança aos ocupantes do veículo (GOMES, 2017).

As vantagens de se obter um sistema eletrônico no controle de tração é que durante um trajeto, através das leituras dos sensores do automóvel os sistemas pode executar ações para prevenir acidentes e melhorar a dirigibilidade; automóveis com sistema de controle no diferencial 4WD são mais econômicos que veículos AWD com tração integral 4x4, pois o sistema se desliga no momento em que o veículo não precisa de controle nas rodas traseiras aliviando o peso nas engrenagens de transmissão de torque.

2.3 Sistemas embarcados em automóveis

A indústria automobilística tem evoluído a passos largos no quesito tecnológico, pois existe pressão dos consumidores por carros com desempenho alto, baixo consumo de combustível, que sejam confortáveis e seguros ao mesmo tempo. Porém, a legislação dos países em relação a segurança e responsabilidade com o meio ambiente tem ajudado na aceleração do processo tecnológico da fabricação de automóveis também.

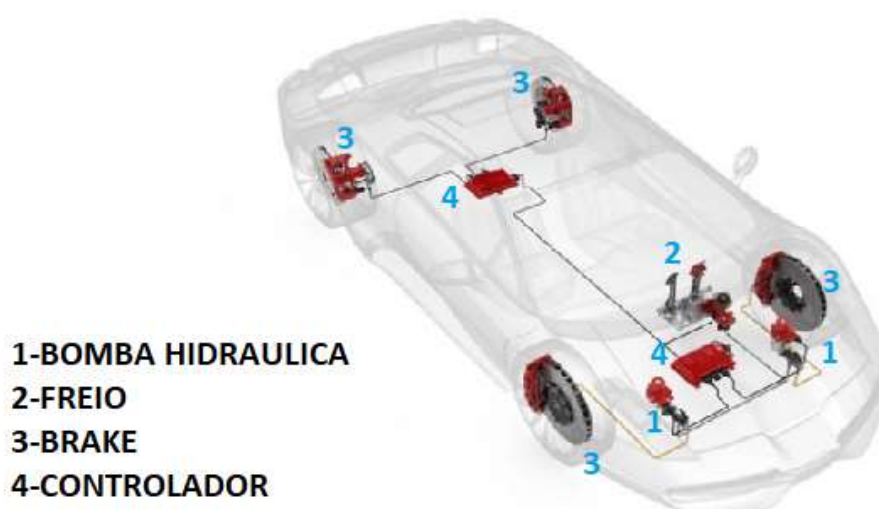
A queda do valor de os componentes eletrônicos tem ajudado as empresas automobilísticas a trocarem sistemas hidráulicos e mecânicos por sistemas eletrônicos que apresentam maior robustez, desempenho e confiabilidade que são qualidades essenciais para o atingir a necessidade dos clientes e a legislação dos países.

Com o avanço da eletrônica e a diminuição do preço dos componentes, tecnologias utilizadas em desenvolvimentos de aviões já começam a ser incorporadas no mercado automobilísticos, que são conhecidas como tecnologias X-By-Wire. Estas tecnologias que visam a substituição de atuadores e sensores hidráulicos e mecânicos por componentes eletrônicos inteligentes ligados em rede,

onde o motorista pode ter acesso a qualquer funcionalidade de seu automóvel através de um software para controle de diagnósticos e funcionalidade (NAVET, 2009).

A Figura 5 representa os elementos fundamentais para o funcionamento de um sistema de brake X-By-Wire; o motorista aciona os pedais do freio em seguida por meio de cabos o microcontrolador no automóvel reconhece o comando e aciona as bombas hidráulicas que estão cada vez mais próximas das rodas, as bombas acionam o fechamento dos bares. Anteriormente ao cabeamento esses sistemas de Brakes era acionada por meio hidráulico.

Figura 5 – Sistema de Brake



Fonte: Adaptado de MOTOR EQUIPMENT NEWS (2021)

Empresas estão entrando no mercado automotivo para suprir essa necessidade das fabricantes, estas são empresas de semicondutores, eletrônicos, tecnologia da informação e entretenimento que estão se especializando em automóveis. As empresas fabricantes de eletrônicos e semicondutores estão focando em controles de motor, transmissão, ar-condicionado, painel de controle, trem de força, segurança ativa, já as empresas de informação e entretenimento são focadas em navegação, gerenciamento de informações, comunicação externa e interna (SANGIOVANNI-VINCENTELLI; NATALE, 2007).

Sistemas embarcados são sistemas eletrônicos baseado em um microprocessador, que tem como intuito controlar uma ou várias funções, porem ele não pode ser programado como o usuário final deseja, pois ele é especificamente criado para a função que o próprio executa (HEATH, 2003).

Um de sistemas embarcados de um automóvel devido a sua robustez pode estar exposto a variáveis críticas como variação de temperaturas, pressão, velocidades e humidade, sem sofrer alterações no seu propósito (NAVET, 2009).

O conceito de multiplexagem em automóveis com diversas redes interconectadas com CAN, MOST e outras, vem facilitando a utilização de sistemas embarcados, a vantagem principal da multiplexagem é a redução de fiação, confiabilidade na aquisição de dados através da leitura de sensores e atuadores a distância de microcontroladores. Através da multiplexagem esses sistemas eletrônicos são interligados, criando assim um sistema de controle do automóvel sendo acompanhados através de software próprio, que possibilita o acompanhamento de todos os processos de desempenho do automóvel, trazendo ao consumidor eficiência, conforto e segurança desejada (NAVET, 2009).

Alguns sistemas embarcados conhecidos são os sistemas eletrônicos de estabilidade, controle de tração, controle de suspensão, controle eletrônico do motor. O controle de tração se localiza no domínio do chassi que tem como objetivo controlar a interação automóvel – estrada. Nesse domínio os desejos dos motoristas como frenagem, aceleração são analisados pelos controladores do chassi para que haja melhor desempenho e segurança do automóvel durante o trajeto (NAVET, 2009).

2.4 Modulação por largura de pulso

Em sistemas microcontrolados e de eletrônica de potência como no sistema de controle de tração de um automóvel a técnica de modulação digital mais comum de controle utilizada é a modulação por largura de pulso ou PWM (JR; SILVA, 2015).

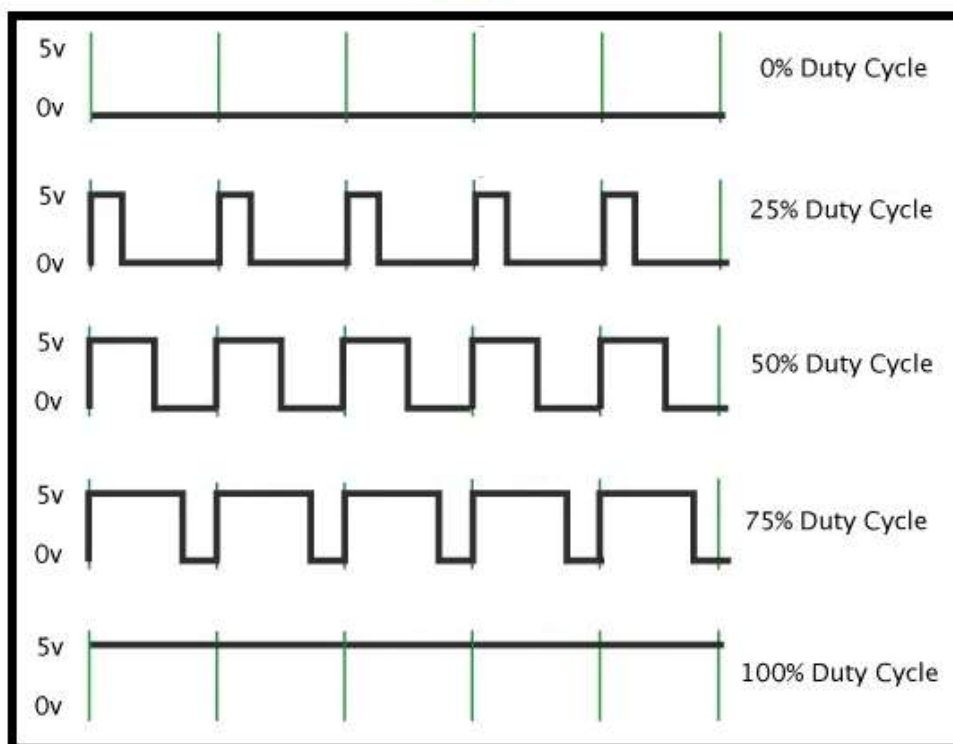
O Modulador PWM transforma tensão contínua de um sistema de controle em pulsos de tensão causando saturação de um MOSFET ou IGBT, esta saturação pode ser entendida como liberação de energia de uma fonte para uma carga. Os pulsos gerados possuem duas variáveis, a primeira é a frequência que deverá ser sempre fixa e a segunda é o sinal de entrada que pode ser variável, o sinal de entrada definirá a largura do pulso gerado (MELLO, 2011).

A largura do pulso gerado definirá a abertura do transistor e conseqüentemente a transferência de potência da fonte a carga. O período de

transferência de potência do MOSFET pode ser chamado de Duty Cycle ou ciclo de trabalho (BALDNER, 2019).

A Figura 6 representa os pulsos de um PWM e demonstra o ciclo de trabalho; na primeira representação notasse um ciclo de trabalho de 0% então como a tensão está em 0v não haverá abertura do MOSFET e conseqüentemente não há a condução de potência entre fonte e a carga. Na terceira representação notasse que há um ciclo de trabalho de 50%, então dentro de um ciclo temos metade do período em 5V e outra metade em 0V, logo se sabe que no período de 5V haverá a abertura do MOSFET então terá 50% da energia liberada da fonte para a carga.

Figura 6 – Representação de pulsos de um PWM
PWM



Fonte: Adaptado de EMBARCADOS (2016)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico do trabalho será apresentado os materiais e metodologias aplicada no desenvolvimento de um controlador eletrônico que fara o fechando das engrenagens de um diferencial, esse fechando das engrenagens fara com que os eixos das rodas obtenham mais ou menos torque.

3.1 Materiais

3.1.1 Diferencial

O diferencial (Figura 7) utilizado é de uma marca estadunidense muito utilizado em carros japoneses e europeus. Sua utilização é em automóveis com características 4WD.

As características elétricas de alimentação da bobina do diferencial são as apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características de alimentação do diferencial

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	UNIDADES
MÁXIMA TENSÃO DE TRABALHO	12V
MÁXIMA CORRENTE DE TRABALHO	10A

Fonte: Adaptado do datasheet do diferencial (2019)

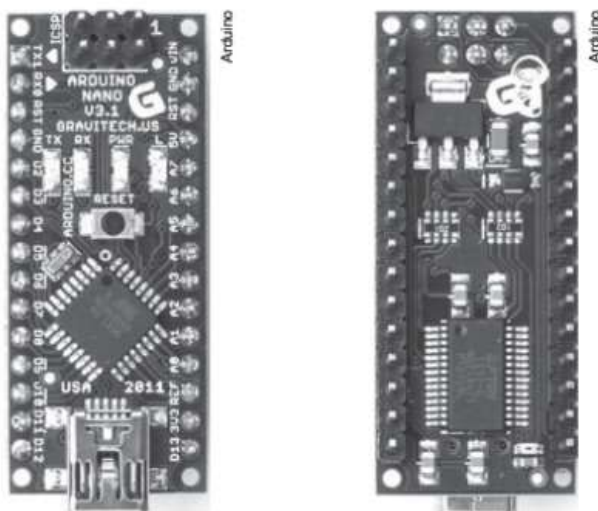
Este diferencial escolhido trabalha aberto em condições normais, ou seja, quando não há tensão e corrente injetadas na bobina do diferencial a um comportamento de tração 4x2 no automóvel.

Figura 7 - Diferencial blocante

Fonte: EATON (2014)

3.1.2 Arduino

A proposta desse trabalho é apresentar uma solução de baixo custo no controle da bobina de um diferencial blocante, por esse motivo foi escolhido o Arduino Nano como solução (Figura 8).

Figura 8 - Arduino Nano

Fonte: JR; SILVA, (2015)

O primeiro ponto a ser destacado dessa escolha é seu baixo custo de aquisição e sua enorme disponibilidade no mercado. O segundo ponto é que o analisado foi a fácil compatibilidade com vários módulos MOSFET que aplicaram o chaveamento de tensão e corrente na bobina do diferencial. O terceiro ponto é a sua simples personalização, pois o Arduino é uma plataforma open-source que é distribuído junto ao seu código fonte possibilitando o cliente final definir de forma fácil os parâmetros para controle.

A Figura 9 mostra as características do Arduino Nano, essas características são importantes na compatibilidade do controlador com a tensão e correntes da alimentação disponibilizada pelo automóvel, pois qualquer diferença nas variáveis pode ocorrer queima das portas do Arduino.

Figura 9 – Característica do Arduino Nano

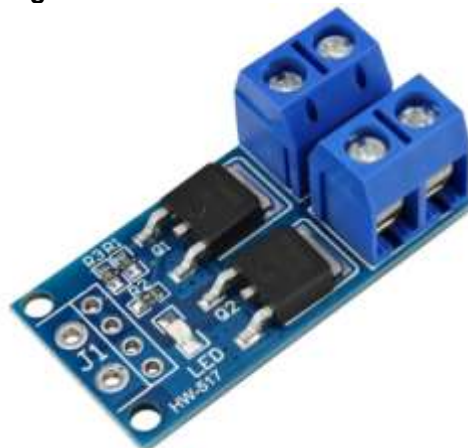
Microcontrolador	Atmel ATMEGA168 ou ATMEGA328
Tensão de operação	5 V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12 V
Limites de tensão de entrada	6-20 V
Pinos de I/O digital	14 (dos quais 6 dispõem de saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	8
Nível de corrente por Pino I/O	40 mA
Memória de programa - Flash	16 KB (ATMEGA168) ou 32 KB (ATMEGA328) (2 KB para bootloader)
Memória SRAM	1 KB (ATMEGA168) ou 2 KB (ATMEGA328)
Memória EEPROM	512 bytes (ATmega168) ou 1 KB (ATMEGA328)
Frequência de clock	16 MHz

Fonte: JR; SILVA, (2015)

3.1.3 Módulo MOSFET

O módulo MOSFET escolhido para o controle de potência foi o módulo CONTROLADOR PWM D4184 (Figura 10), este módulo é compatível com o Arduino facilitando o controle do diferencial.

Figura 10 - Modulo MOSFET



Fonte: USINAINFO (2019)

Este modulo é muito utilizado em controle de motores e válvulas solenoides, suas características elétricas são as informadas na Tabela 2

Tabela 2 – Característica Modulo MOSFET

CARACTERÍSTICAS DO MÓDULO MOSFET	UNIDADES
Máxima Tensão de operação	36 V
Máxima Corrente de operação	30 A
Máxima Potencia de operação	400W
Frequência de operação	0 - 20kHz

Fonte: Adaptado do datasheet do MOSFET (2009)

3.1.4 Potenciômetro e botão ON/OFF

Para o acionamento do modo manual de operação do controlador eletrônico será utilizado um botão on/off e para selecionar a porcentagem de fechamento do diferencial utilizaremos um potenciômetro, tanto o botão como o potenciômetro utilizado nos testes serão próprios para esta finalidade. Ambos os componentes (Figura 11), embora não sejam tão baratos quanto se deseja para um controlador barato, eles são acessíveis e muito utilizado para na função de controle de tração em vários automóveis de diversas marcas diferentes.

Figura 11 - Botão e Potenciômetro



Fonte: SUBAROIDIOTS(2015)

3.1.5 Display

Para visualização dos modos e ações de controles será utilizado um display OLED 0.96" I2C (Figura 12).

Figura 12 - Display Arduino OLED 0.96" I2C



Fonte: CAPSISTEMA (2020)

O display será utilizado para visualizarmos a porcentagem de travamento ocorrida no diferencial quando acionado o potenciômetro, através da mudança do PWM no modo manual.

3.1.6 Sensores

O primeiro sensor a ser utilizado será o de freio serve para indicar o estado em que o carro está durante o trajeto, caso o carro esteja freando ou esteja parado, isso evita que o controlador seja acionado de forma não efetiva.

Outro sensor muito importante utilizado será o de óleo que indicará a temperatura e o nível de óleo de lubrificação, evitando que o diferencial trabalhe sem estar lubrificado.

Os sensores de freio ABS não serão utilizados no modo manual, esse sensor tem como função a avaliação do movimento da roda quando o automóvel está em movimento, os sensores do ABS são muito importantes no controle automático do controlador. Caso o usuário queira monitorar as velocidades das rodas, ele poderá utilizar os sensores do ABS.

3.1.7 Software

Os softwares utilizados no desenvolvimento do controlador para este trabalho serão Arduino IDE que é um software de programação para placas Arduino na qual utilizaremos com controlador, a partir da programação realizado no software poderá se realizar leituras dos sensores e ações do controlador. O segundo software utilizado será de desenvolvimento e simulação de circuitos eletrônicos utilizado na construção do controle do diferencial, este software servirá para testar o controlador antes de construir o controlador físico, através da simulação poderá se prever situações futuras e otimizar o controlador.

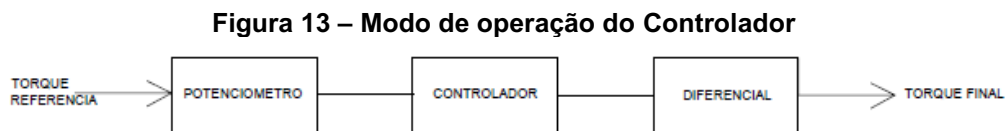
O terceiro software utilizado será para o desenvolvimento de placa de circuitos impressos, nele será construído a placa de acoplamento de todos os módulos e hardware utilizados no desenvolvimento do controlador. Através desse software construiremos a parte física do controlador.

3.2 Métodos

Para que o desenvolvimento do controlador tenha o resultado esperado, alguns métodos devem ser bem definidos, nesse tópico será abordado a metodologia utilizada.

3.2.1 Modo de operação

Para o desenvolvimento do controlador do diferencial central funcionara no modo de operação definido será o modo manual.



Fonte: Aatoria Própria (2021)

O modo manual é baseado em um sistema de controle em malha aberta (Figura 13), onde o motorista do automóvel através de sua preferência seleciona no potenciômetro a porcentagem de torque que será utilizada nos eixos do automóvel. Após a escolha do motorista o controlador irá avaliar as condições estabelecidas no desenvolvimento para o funcionamento do controlador, então o sinal de controle será enviado ao diferencial, a saída do sistema será o torque desejado nos eixos das rodas produzido pelo fechamento do diferencial.

3.2.2 Medidas elétricas do diferencial

O primeiro passo foi a retirada das medidas elétricas da bobina do diferencial.

Fotografia 1- Medidas elétricas diferencial

Fonte: Autoria Própria (2019)

Com o auxílio de uma ponte LCR (Fotografia 1) foi conectada a fiação da bobina do diferencial no aparelho de medição, afim de se obter as capacidades das impedâncias do diferencial, os valores encontrados foram 2,6 ohms e 5,5mH.

Pode se observar pela imagem que o medidor informa que a bobina é considerada um indutor, pois ele possui a capacidade de armazenar energia que é criada em um campo magnético.

3.2.3 Sensores

O que irá definir a comunicação dos sensores com o controlador será a natureza de cada sensor, os sensores de um automóvel podem ser analógicos, digitais ou pulsos podendo variar a tensão de atendimento, na Tabela 3 segue as especificações de cada sensor que serão utilizados para o modo de operação manual e também os sensores que embora não foram utilizados no trabalho, mas

podem ser incorporados para estudos e trabalhos futuros do modo de operação automático.

Tabela 3 – Sensores

SENSOR	NATUREZA	TENSÃO
VELOCIDADE RODAS	PULSOS	0 - 5V OU 0 - 12V
PEDAL BRAKE	DIGITAL	0 - 5V OU 0 - 12V
BRAKE MÃO	DIGITAL	0 - 5V OU 0 - 12V
DATA LOGGER	ANALÓGICO	0 - 5V
RPM	PULSOS	0 - 5V OU 0 - 12V
TEMPERATURA ÓLEO	ANALÓGICO	0 - 12V

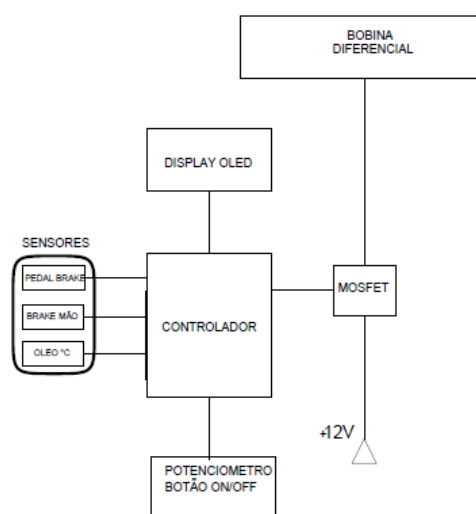
Fonte: Aatoria própria (2019)

Os sensores para o funcionamento em modo manual utilizados foram o sensor de freio de pé (Pedal Brake), freio de mão (Brake mão) e o sensor de temperatura do óleo.

3.2.4 Programação do Arduino

Após definir o modo de operação e os sensores utilizados, o esquemático do sistema foi definido na Figura 15. O esquemático serve para localizar todos os componentes que serão utilizados no sistema, facilitando no desenvolvimento da parte física e parte lógica.

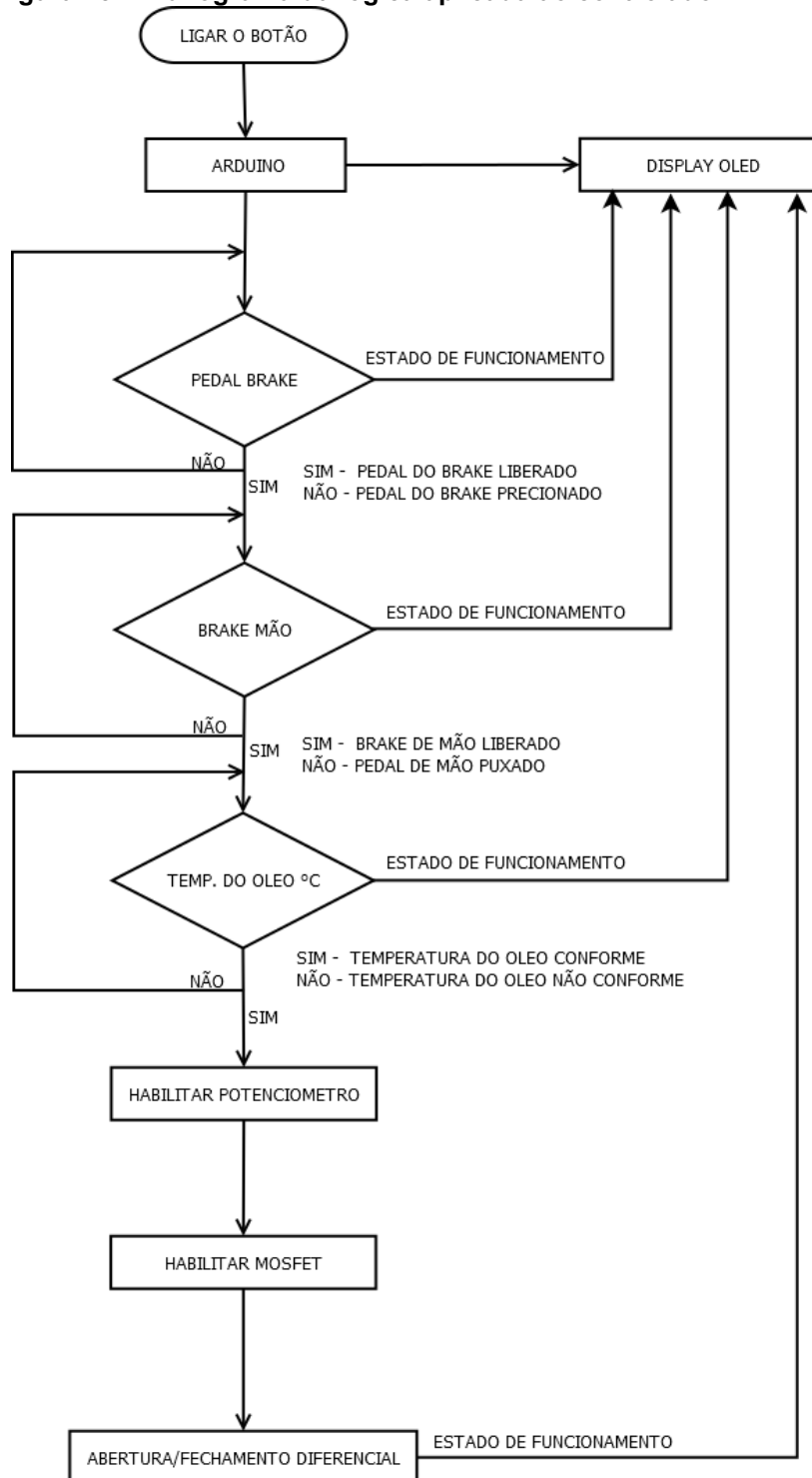
Figura 14 – Esquemático do sistema



Fonte: Aatoria própria (2021)

Na programação do Arduino foi utilizado o software Arduino IDE, na Figura 16 temos o fluxograma de programação utilizado no desenvolvimento.

Figura 15 – Fluxograma da lógica aplicada ao controlador



Fonte: Autoria Própria (2021)

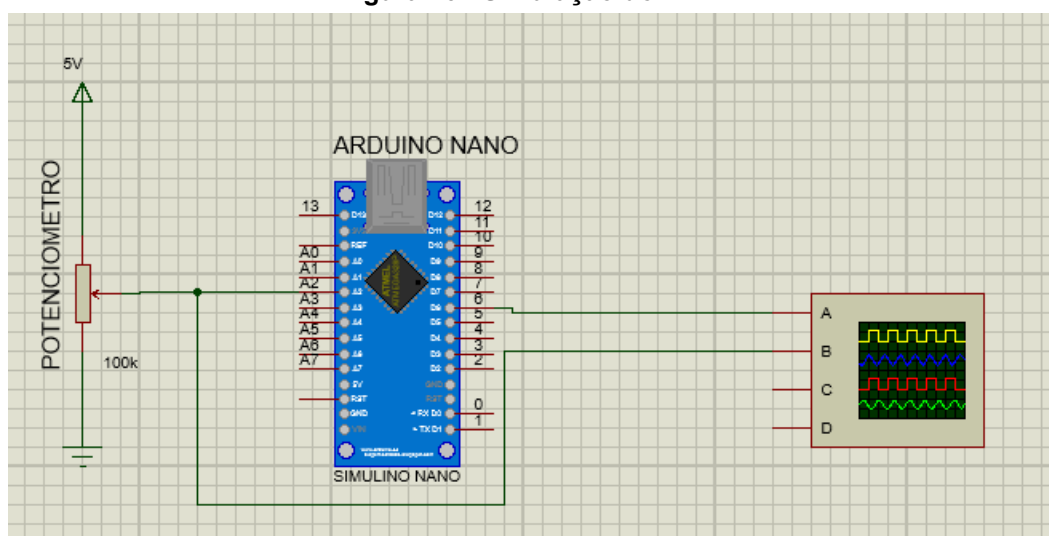
No fluxograma notasse que após o motorista pressionar o botão o sistema ligará o Arduino e o Display. O potenciômetro só estará habilitado para uso após o controlador constatar o bom funcionamento dos sensores. A partir do momento em que o potenciômetro estiver em funcionamento o controlador estará enviando sinal para a injeção de potência na bobina do diferencial.

Para o teste em bancada foi utilizado dois Arduinos, o primeiro Arduino do tem sua rotina como a do fluxograma da Figura 16. O segundo Arduino utilizado foi colocado ao lado do Arduino do controlador para representar as saídas analógicas e digitais dos sensores, portanto sua função foi só injetar sinais no controlador para simulação.

3.2.5 Projeto e simulação do controlador em software

A primeira simulação realizada foi do PWM do Arduino no software de desenvolvimento e indicado na Figura 17. Este teste definirá o funcionamento da programação para o modo de operação desejado.

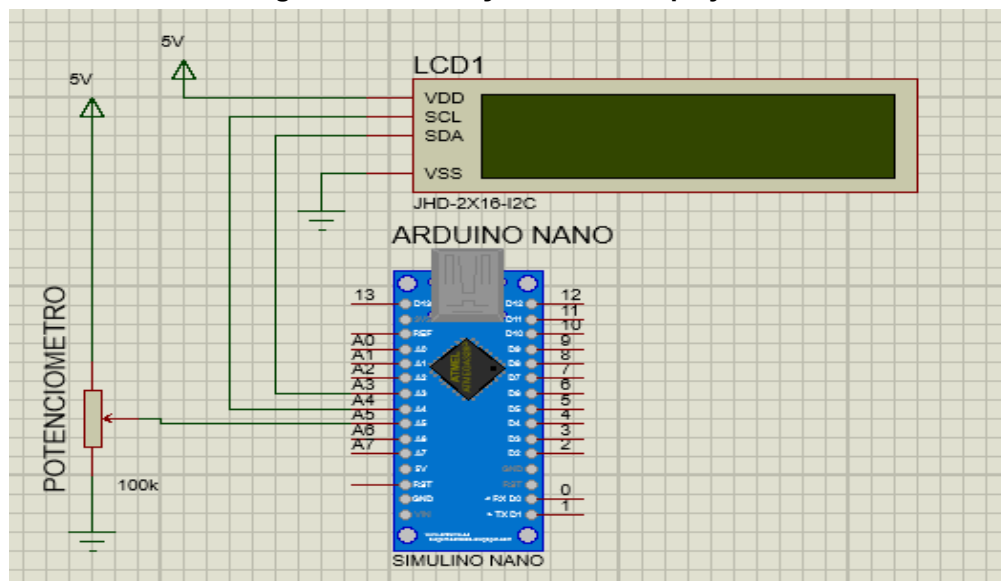
Figura 16 - Simulação do PWM



Fonte: Autoria Própria (2020)

Em seguida foi realizado o teste com o display OLED 0.96" I2C. A função do display nessa primeira fase indicado na Figura 18, é informar a frequência de saída das portas PWM do Arduino. A partir destes dois testes foi definida a maneira da construção do controlador incluindo leituras de sensores.

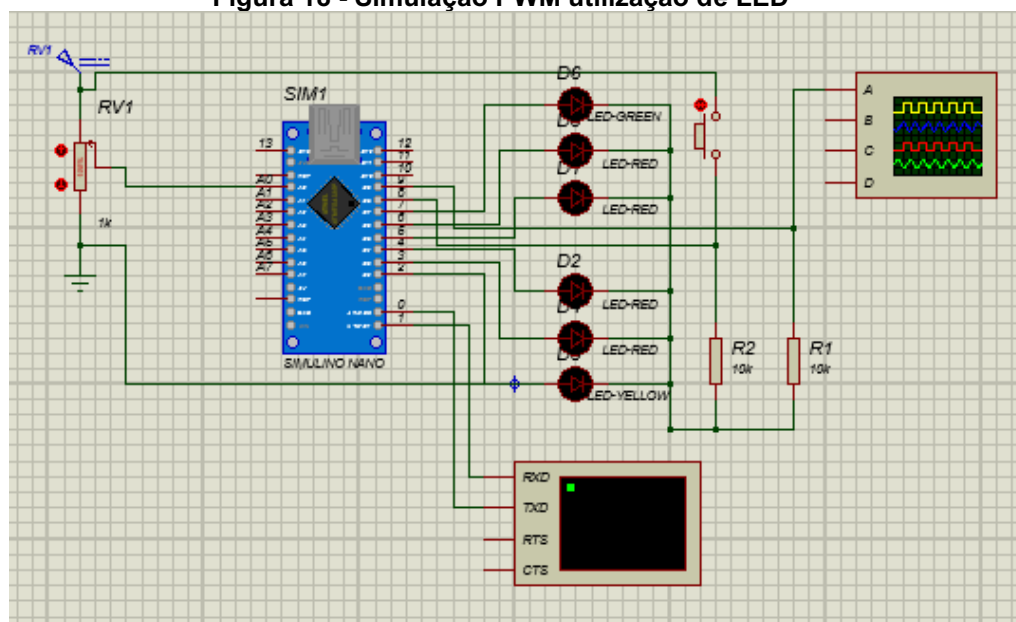
Figura 17 - Simulação PWM e Display I2C



Fonte: Autoria Própria (2020)

Uma simulação na Figura 19, realizada separadamente foi a de substituição do display por led, com a intenção de utilizar o modo de operação manual com indicação da porcentagem de fechamento do diferencial por uma comunicação por led.

Figura 18 - Simulação PWM utilização de LED



Fonte: Autoria Própria. (2020)

3.2.6 Projeto do circuito impresso

No software de projeto iniciou-se o desenvolvimento da placa de circuito impresso do controlador eletrônico.

A Tabela 4 mostra os componentes que serão incluídos na placa do controlador, seu número de entradas de comunicação, os tipos das entradas e se possui a necessidade de entradas de tensão e ground para funcionamento do componente.

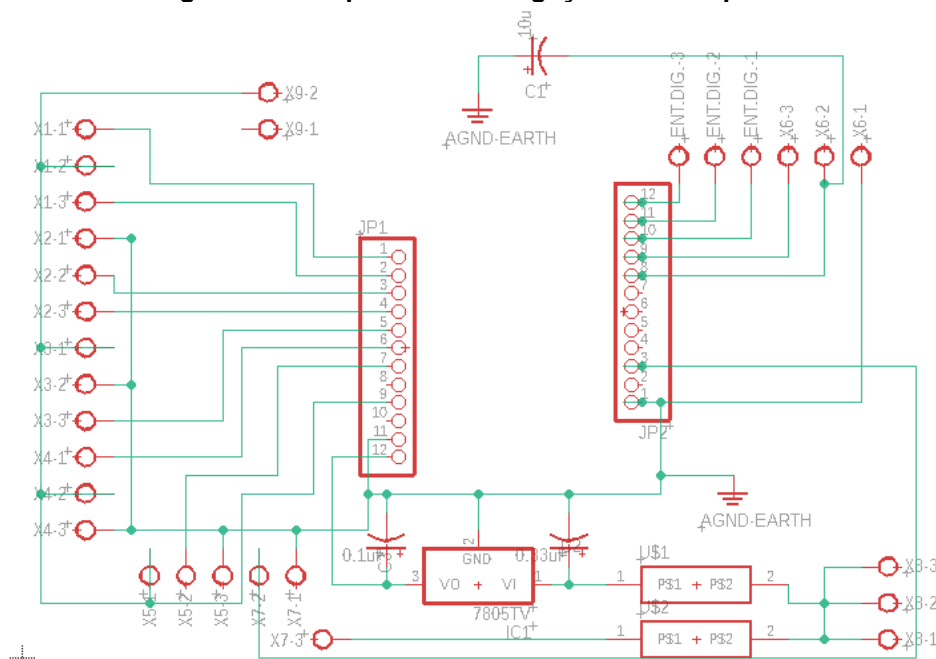
Tabela 4 - Componentes e suas características de projeto

COMPONENTE	N° ENTRADAS	TIPO ENTRADA	TENSÃO	GROUND
BRAKE MÃO	1	DIGITAL	0	0
PEDAL BRAKE	1	DIGITAL	0	0
OLÉO °C (TEMP.)	1	ANALÓGICA	0	0
DISPLAY OLED	2	DIGITAL	1	1
POTENCIOMETRO	1	ANALÓGICA	1	1
BOTÃO ON/OFF	1	DIGITAL	1	1
MOSFET	1	DIGITAL (PWM)	0	1

Fonte: Autoria Própria (2019)

Após identificados a entrada de cada componente foi realizado o esquemático no software de projeto escolhido (Figura 20).

Figura 19 – Esquemático de ligação das componentes

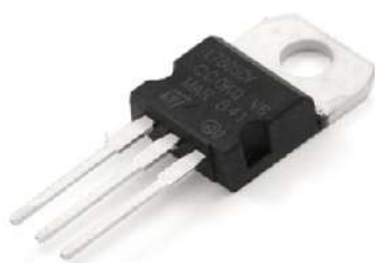


Fonte: Autoria Própria (2019)

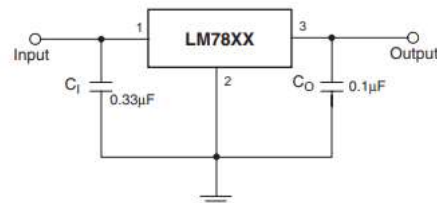
A placa desenvolvida utiliza como alimentação os 12V da bateria do próprio automóvel, porém o Arduino é alimentado com uma tensão de 5V, a solução para este caso foi utilizar um LM7805 (Figura 21a) que é um CI que serve como regulador de tensão.

O LM7805 (Figura 21b), foi acoplado à placa com o intuito de diminuir a tensão da bateria para 5V, dois fusíveis foram utilizados para proteção da entrada da conexão entre a tensão das baterias do automóvel com a placa.

Figura 20 – (a)LM7805 (b) Ligação LM7805



(a)



(b)

Fonte: adaptado de (a) FILIPEFLOP(2015) (b) FAIRCHILD (2012)

O regulador de tensão foi montado conforme o datasheet do fabricante indica, com um capacitor na entrada e outro na saída, sempre aterrando o pino central.

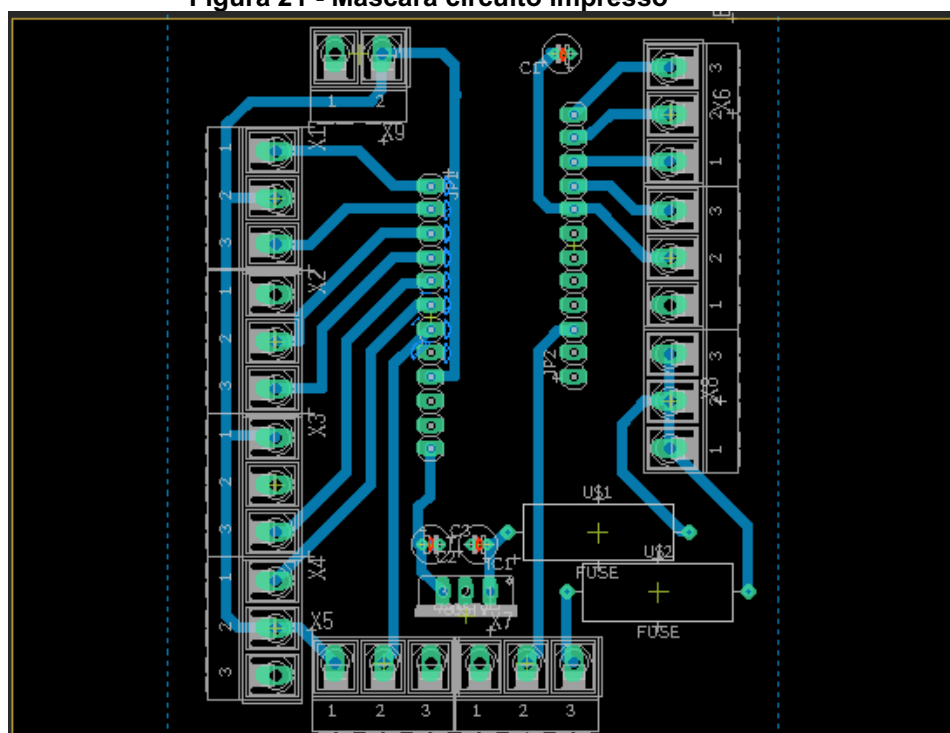
Após a conclusão do de todo o projeto em software próprio para projeto de placas foi dado início a produção da placa física.

3.3 RESULTADOS

Neste tópico será apresentado os resultados obtidos de acordo com os objetivos estabelecidos no trabalho.

O primeiro objetivo era desenvolvimento de um controlador de tração que operasse em modo manual utilizando softwares para a programação e para a sua simulação. O Arduino IDE foi o primeiro software a ser utilizado, a sua função foi criar a lógica de funcionamento do controlador de tração, ele é um software gratuito e de fácil manipulação. Para a simulação e desenvolvimento do circuito do eletrônico controlador foi utilizado um software próprio para criação de projetos eletrônicos muito conceituado no mercado. Utilizando o segundo simulador como base para o circuito eletrônico do controlador modelos a placa de circuito impresso em um terceiro software, este terceiro software é conhecido no mercado pela sua captura de esquemático e o pelo desenvolvimento layout de placas de circuitos impresso. Utilizando esses softwares três o desenvolvimento lógico e a simulação foram muito facilitados e trazendo maior confiabilidade na construção da parte física do controlador.

Figura 21 - Máscara circuito impresso

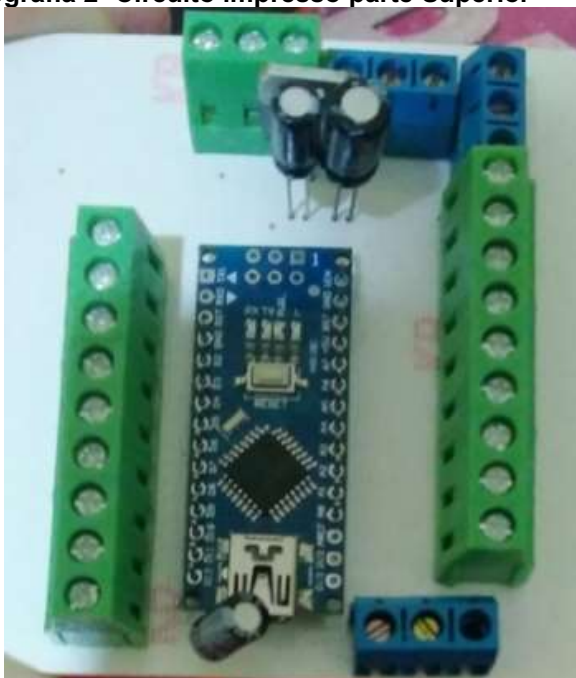


Fonte: Autoria Própria (2021)

A Figura 22 mostra a máscara gerada pelo software utilizado no desenvolvimento da placa impressa.

O segundo objetivo estabelecido foi a construção da placa de circuito impresso. Utilizando as informações utilizadas no software de desenvolvimento de layout foi realizado a fabricação da placa física do controlador. O material escolhido para o desenvolvimento da placa foi o composite CEM-1, a escolha pelo material foi por ser fácil acesso e preço reduzido perto de materiais utilizados no desenvolvimento de circuitos impresso. Os componentes eletrônicos utilizados foram de baixo custo também, o Arduino, o módulo MOSFET, a placa de circuito impresso, os bornes, o Display, o LM7805, capacitores, potenciômetro e o botão ON/OFF ficaram em torno de R\$ 400,00 reais. No mercado atual controladores desse tipo podem ser encontrados por R\$ 2200,00 reais.

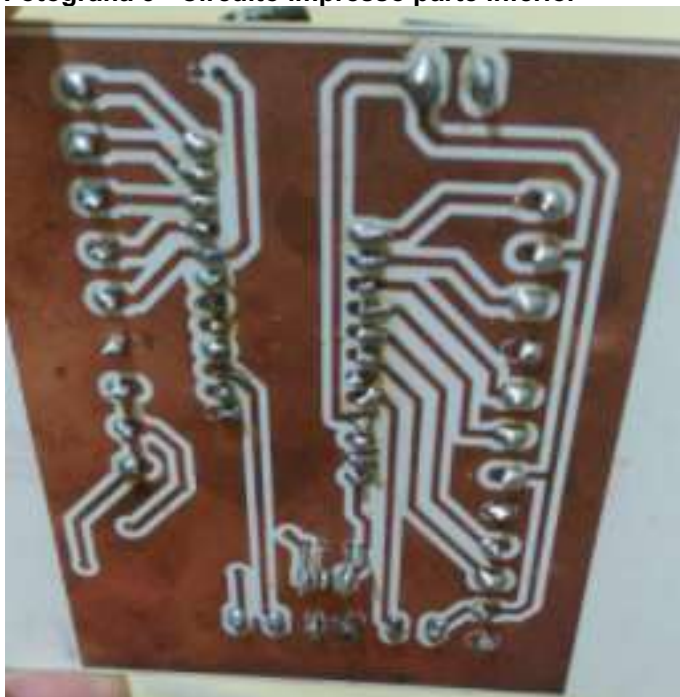
Fotografia 2- Circuito impresso parte Superior



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Fotografia 2 tem-se o controlador após conexão dos capacitores, do LM4805, do Arduino e dos bornes onde serão conectados os módulos MOSFET, display, potenciômetro, botões e os sensores.

Fotografia 3 - Circuito impresso parte inferior



Fonte: Autoria Própria (2021)

A Fotografia 3 indica como foi realizado as soldagens dos componentes na placa de composite.

Para a validação do projeto foi realizado um teste em bancada, utilizando um osciloscópio, a placa de circuito do controlador, um Arduino avulso para a representação dos sensores, a carga representando a bobina do diferencial, um display, um botão on/off, um potenciômetro e uma fonte CC 12V.

A placa do controlador foi alimentada com uma fonte CC de 12V afim de obter informações do funcionamento do controlador.

Fotografia 4- Sinal PWM sem carga



Fonte: Aatoria Própria (2021)

No primeiro teste realizado foi retirado a carga do circuito, este teste tinha a finalidade descobrir como seria o comportamento do controlador e testar a lógica de programação contida nele. primeira imagem obtida do osciloscópio (Fotografia 4) notasse que sem carga as formas de ondas do PWM ficaram cheias de interferências, tendo um resultado não satisfatório. Esse resultado mostrou que a placa tinha grande chance de dar incompatibilidade quando acoplada ao diferencial.

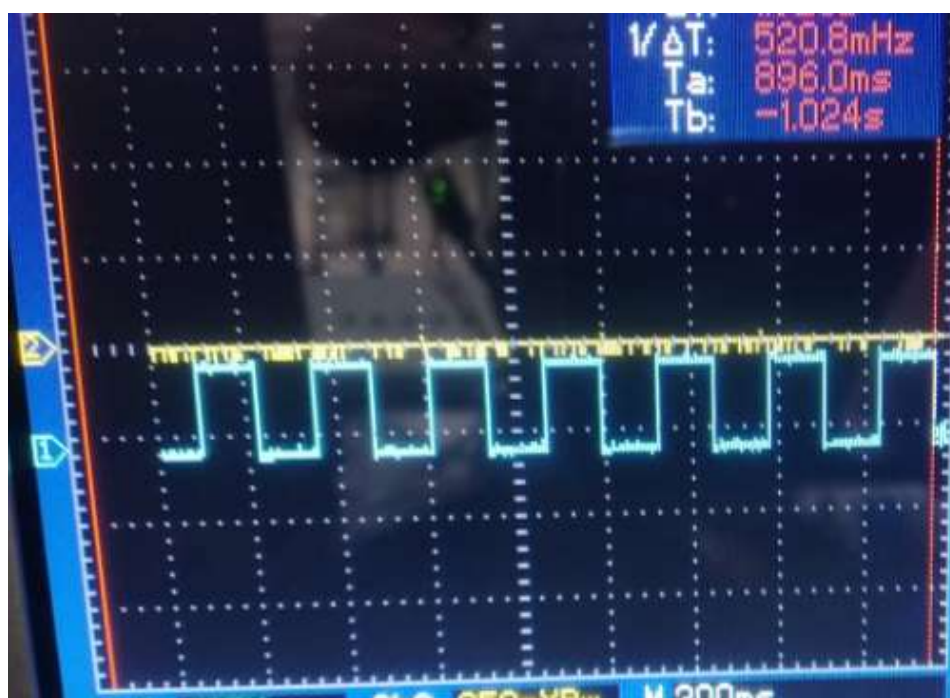
A ação realizada para a correção das interferências foi a inclusão de um capacitor de 0.1μF na entrada do MOSFET para corrigir as interferências em altas frequências, o capacitor de baixa capacitância serviria como um filtro passa baixa,

ajudando na filtragem de qualquer interferência no sistema e ajudando a possuir uma melhor compatibilidade entre a placa e o diferencial.

O segundo teste realizado não foi incluído a carga ainda, porém já tinha sido incluído o capacitor como filtro passa baixa, o resultado foi satisfatório, as ondas do PWM se não apresentaram interferências.

A Fotografia 5 já mostra a placa trabalhando em carga, a carga da bobina foi representada por uma associação de 3 indutores 1,8mH e um resistor de 2,7 ohm. A carga utilizada foi definida utilizando as informações obtidas utilizando a ponte RLC para medir a impedância da bobina.

Fotografia 5 - Sinal PWM com carga e filtrado



Fonte: Autoria Própria (2021)

Os testes foram realizados com um ciclo de trabalho em 50% da capacidade do controlador, isso significa que somente 50% da potência da fonte estava sendo injetada na carga. A frequência utilizada nos testes foi de 440Hz.

Através da validação do controlador eletrônico o terceiro objetivo foi satisfeito.

Houve durante o desenvolvimento do controlador alguns percalços envolvendo queima de algumas entradas do Arduino e do Display, esses problemas foram ocasionados pelas proximidades das trilhas de conexão, aconselhasse a

utilização de máscaras nos circuitos impressos para evitar problemas de curto circuito entre componentes.

Um dos benefícios constatados no trabalho foi a fácil intercambialidade entre os componentes como o Arduino, devido ao seu preço baixo e sua facilidade de ser encontrado, foi realizado a substituição no controlador após a queima de algumas portas e o controlador voltou a funcionar normalmente.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho para solucionar o objetivo principal que era desenvolver um controlador para um diferencial automotivo de baixo custo e customizável, alguns objetivos específicos precisavam ser solucionados.

O primeiro objetivo foi o desenvolvimento da parte lógica do controlador junto a parte a simulação do circuito eletrônico em software, foi utilizado três softwares para resolver o primeiro passo.

O segundo objetivo foi o desenvolvimento da parte física do controlador eletrônico, foi realizado a escolhas dos componentes de acordo com a sua facilidade de ser encontrado no mercado e de ter baixo custo. O layout da placa do controlador foi definido nesse passo, utilizando as informações dos testes realizados nos softwares do primeiro passo.

O terceiro objetivo realizado foi a validação da placa do controlador em bancada utilizando as informações elétricas obtidas do diferencial e dos sensores para comunicação com o controlador. O controlador comportou-se com o esperado.

Após a conclusão dos objetivos específicos, entende-se que o objetivo principal foi concluído, que foi o desenvolvimento de um controlador eletrônico para diferencial com o objetivo de controlar de tração de um automóvel.

Este trabalho pode ser utilizado como base para futuros estudos nas áreas automobilísticas de controle de tração e controle de estabilidade de automóveis. Neste controlador eletrônico pode ser incluído o modo automático com métodos de controles mais sofisticados como controles robustos e adaptativos.

REFERÊNCIAS

- BOSCH, R. **Electronic Automotive handbook**. Robert Bosch GmbH. 1. ed, 2002.
- SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A.; NATALE, M. D. **Embedded System Design for Automotive Applications**. IEEE Computer Society, p. 42-51, out. 2007.
- WIT, C. C.; TSIOTRAS, P. **Dynamic Tire Friction Models for Vehicles Traction Control**. Georgia, 1998.
- COOK, J. A. **Control, Computing and Communications: Technologies for the Twenty-First Century Model T**. IEEE special issue on automotive power electronics and motor drives, vol. 95, no.2 p.334-355, 1998.
- HEATH, S. **Embedded Systems Design**. 2. ed. Newnes. Burlington, MA, 2003.
- LATHAN, C. **Construction Mechanic Basic – NAVEDTRA 14273**. Naval Education and Training Professional Development and Technology Center, vol. 2, Pensacola, FL, 1998.
- NAVET, N.; SIMONOT-LION, F. **Automotive Embedded Systems Handbook**. CRC Press. Boca Raton, FL, 2009.
- RATTAN, S. S. **Theory of Machines**. 3. ed. Tata McGraw hill Educations Private Limited. New Dwlhi, 2009.
- RIBBENS, W. B. **Understanding Automotive Electronics – An Engineering Perspective**. 8. ed. Butterworth-Heinemann. Cambrigde, MA, 2017.
- TURNER, J. **Automotive Sensor**. Momentum Prees. New Jersey, 2009.
- HORI, Y.; TOYODA, Y.; TSURUOKA Y. **Traction Control of Electric Vehicle based on the Estimation of Road Surface Condition. Proceeding of the Power Conversion Conference-Nagaoka**. Vol. 2 . 1992.
- CAPSISTEMA. “**DISPLAY ARDUINO OLED 0.96” I2C**,” [Online]. Disponível em < <https://capsistema.com.br/index.php/2020/02/24/guia-para-o-display-i2c-oled-com-arduino/> > . Acesso em 18 out 2020.
- Mecânica Industrial. “**ENGRENAGENS EPICICLICA DE UM DIFERENCIAL**,” [Online]. Disponível em <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/?s=tipos+de+engrenagens>> . Acesso em 03 nov 2019.

AGUIAR, G. “**Qual a diferença entre controle de estabilidade e de tração,**” publicado em 22/08/2018, revista digital Quatro Rodas, [Online]. Disponível em <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/qual-e-a-diferenca-entre-os-controles-deestabilidade-e-de-tracao/> > . Acesso em 18 out 2019.

EATON. “**DIFERENCIAL BLOCANTE,**” [Online]. Disponível em <<https://www.eaton.com/us/en-us/catalog/differentials/suretrac-limited-slipdifferential.html>> . Acesso em 19 nov 2021.

Salão do carro. “**Como funciona o controle de estabilidade ESP,**” publicado em 10/09/2012 atualizado em 30/05/2014, revista digital Salão do Carro, [Online]. Disponível em <<https://salaodocarro.com.br/como-funciona/controle-de-estabilidadeesp.html>> . Acesso em 03 nov 2019.

PAGLIARINI, G. “**Como funciona o controle eletrônico de estabilidade**” publicado em 09/10/2015, atualizado em 21/12/2018, revista digital Auto Esporte [Online]. Disponível em <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2015/10/comofunciona-o-controle-eletronico-de-estabilidade.html> > . Acesso em 03 nov 2019.

GOMES, M. S. “**Contribuição ao controle de tração aplicado a veículos terrestres em solos deformáveis.,**”. 189 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, 2017

DEJUN, Y. “**General Approach to Traction Control for Electric Vehicles Based on Maximum Transmissible Torque Estimation.**”. 106 f. Tese (Doctor of Philosophy) – Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Tokyo, 2009

USINAINFO. “**MODULO MOSFET,**” [Online]. Disponível em <<https://www.usinainfo.com.br/driver-para-motor/controlador-pwm-d4184-modulo-depotencia-mosfet-30a-400w-36v-5506.html> > . Acesso em 19 nov 2021.

SUBAROIDIOTS. “**Botão e Potenciômetro**” [Online]. Disponível em <<https://subaruidiots.com/awd-the-five-types-of-subaru-systems/5/> > . Acesso em 19 out 2021.

FAIRCHILD. **LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator.** Fairchild Semiconductor Corporation, 2012.

EMBARCADOS. “**PMW Funcionamentos**” [Online]. Disponível em <<https://www.embarcados.com.br/domine-o-pwm/>> . Acesso em 19 out 2021

JR., Sergio.Luiz. S .; SILVA, Rodrigo. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos** . Editora Saraiva, 2015. 9788536518152. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518152/>. Acesso em: 04 dez. 2021.

MELLO, Luiz.Fernando.Pereira. D. **Projetos de Fontes Chaveadas - Teoria e Prática** .Editora Saraiva, 2011. 9788536520124. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520124/>. Acesso em: 04 dez. 2021.

BALDNER, Felipe.de. O .; PAULA, Arthur.Neves. D .; MOURA, Karina.de.Oliveira.AD; AL., Et. **Eletrônica II** . [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2019. 9788533500211. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788533500211/>. Acesso em: 04 dez. 2021.

WEBMOTORS. “**Tração de carro**” [Online]. Disponível em< <https://www.webmotors.com.br/wm1/dicas/tracao-de-carro-o-que-e-e-quais-sao-os-tipos/>> . Acesso em 4 Dez 2021

MOTOR EQUIPMENT NEWS “**BRAKE WIRE**” [Online]. Disponível em< <https://motorequipmentnews.co.nz/article/brake-wire-%E2%80%93-brake-future>. Acesso em 4 Dez 2021

FILIFELOP “**LM7805**” [Online]. Disponível em< <https://www.filieflop.com/produto/regulador-de-tensao-7805-5v> . Acesso em 4 Dez 2021

Datasheet do Mosfet. “**AOD4184A 40V N-Channel MOSFET**”. Alpha&Omega semiconductor, 2009.

Datasheet do diferencial. “**Suretrac Eaton**”. Eaton Automotive Components Sp.z o.o., 2019.