

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

VITOR COSTA GONÇALVES

MONTAGEM E TESTE DE UM ROBÔ PARA USO EM LAVOURA CAFEEIRA

Uberlândia – MG

2021

VITOR COSTA GONÇALVES

MONTAGEM E TESTE DE UM ROBÔ PARA USO EM LAVOURA CAFEEIRA

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares

Uberlândia – MG

2021

VITOR COSTA GONÇALVES

MONTAGEM E TESTE DE UM ROBÔ PARA USO EM LAVOURA CAFEEIRA

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Orientador: José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares - UFU
Orientador

Prof. Dr. Marco Vinícius Muniz Ferreira – Centro Universitário UNA Uberlândia
Examinador

Prof. Me. Rodrigo Hiroshi Murofushi - IFMG
Examinador

Esp. Cristiano André Stefanello – John Deere Catalão
Examinador

Esp. Lucas Ferreira Franco – John Deere Catalão
Examinador

Uberlândia – MG

2021

AGRADECIMENTOS

A todo o corpo docente da Faculdade de Engenharia Mecânica, que mantém um alto nível de graduação em seus três cursos, em especial no meu caso, Engenharia Mecatrônica, referência no Brasil e no mundo.

A todos os funcionários tanto da Faculdade de Engenharia Mecânica quanto da Universidade Federal de Uberlândia, que proveem a infraestrutura que torna possível a existência e manutenção dos cursos da instituição.

Ao meu orientador Prof. Jean, pela disposição que sempre teve ao longo do trabalho, apesar dos diversos contratempos encontrados ao longo dele, e pela sabedoria de ensinar sem entregar o resultado, fazendo com que eu me desenvolvesse para chegar nele, muitas vezes só tendo clareza disso depois.

À minha família que me deu suporte ao longo de toda a graduação, e também antes dela, e à minha namorada que foi especialmente importante para que eu mantivesse o foco necessário durante a realização desse trabalho, quando algo não saía como esperado.

Aos colegas de curso, em especial os que tive contato mais próximo durante minha iniciação científica, durante meu tempo na Meta Empresa Júnior e durante o curto período de tempo em que estive realizando esse trabalho presencialmente no MAPL, antes de precisarmos nos isolar devido à Covid-19. Essas pessoas tiveram participação importante no aprendizado prático do dia a dia, aquele que não se aprende em sala de aula, e que certamente é um diferencial na carreira de um profissional.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para que a realização desse curso fosse possível.

Resumo

Com a evolução da automação, e também o aumento populacional, um crescente desafio dos produtores de alimentos em toda a cadeia global e também daqueles que fornecem seus equipamentos de trabalho é o desenvolvimento de novas tecnologias que possam possibilitar maior produtividade. Junto a isso, um novo direcionamento bastante importante é para o uso de fontes de energia limpa.

Nesse contexto, esta monografia apresenta o trabalho de montagem e testes de um robô para uso futuro em lavoura cafeeira. O robô se movimenta através de rodas, propelidas duas a duas, por um motor elétrico de cada lado. Nesse trabalho foi realizada a montagem de todo o conjunto físico, e também foram concebidos e criados os sistemas eletroeletrônicos, tanto de potência quanto de comando e controle. Os dois motores são acionados individualmente, através de placas OSMC (*Open Source Motor Controller*), dispositivos com um *driver* para motores de corrente contínua de alto desempenho. Cada motor tem sua placa de controle (OSMC), e o comando é feito sobre elas usando um Arduino como microprocessador. Para que o robô desempenhe seu movimento de forma segura, tanto para si próprio quanto para qualquer pessoa ou obstáculo que possa encontrar em seu caminho, ele foi instrumentado com sensores ultrassônicos de leitura variável, assim, dentro do raio de leitura do sensor (até 4m), o conjunto pode ser configurado para operar com diferentes distâncias de segurança, em função da aplicação e velocidade de aplicação.

Abstract

With automation evolution, and also the populational growth, na increasing challenge for the food producers in the global scale and also for those who supply their work equipament is the technology development, in order to allow bigger productivity. Together with that, a new important direction being taken is the use of clean energy sources.

In that context, this monography presents the assembly and test work developed for a robot to be used in the future on coffee crops. The robot moves using wheels, propelled two by two, by na eletric motor on each side. On this project were made the physical structure assembly, as well as the conception and assembly of the electro-electronic systems, both power and command-control. Both motors are driven individually, through OSMC boards, devices with a driver chip on it properly designed to control high performance DC motors. Each motor has its own control board (OSMC), and the command is applied on them both using only one Arduino microprocessor. In order for the robot to perform its movement safely, both for itself and for any person or obstacle it may find on its way, it was instrumented with variable reading ultrasonic sensors, this way, within the sensor operating radius (up to 4m), the assembly can be configured to operate on various distances, according to the application and operation speed.

Lista de figuras

Figura 1. Robô curiosity na superfície de Marte. (https://pt.wikipedia.org/wiki/Explora%C3%A7%C3%A3o_de_Marte#/media/Ficheiro:PIA16239_High-Resolution_Self-Portrait_by_Curiosity_Rover_Arm_Camera.jpg), 2021).....	14
Figura 2. Robô de limpeza de áreas devastadas no Japão. (https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2011/04/robo-de-resgate-pode-limpar-areas-devastadas-por-tsunami-no-japao.html), 2021)	15
Figura 3. Robôs de movimentação por pernas, Boston dynamics (https://www.portalamazonida.com.br/robos-mostram-que-sabem-dancar-em-video-da-boston-dynamics-assista/). 2021).....	16
Figura 4. Drone entregador de encomenda da Amazon (https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/05/entenda-diferenca-entre-drone-e-vant-e-suas-aplicacoes-praticas.html >, 2021)	17
Figura 5. Robô de exploração para fauna e flora marinhas (https://www.inteligenciaartificial.me/peixe-robo-pode-ajudar-cientistas-espionar-vida-marinha/), 2021).....	18
Figura 6. Perfil estrutural em alumínio (https://www.aluminio.ind.br/MLB-708273497-perfil-de-aluminio-estrutural-modular-40x40-basico-_JM), 2021).....	22
Figura 7. Componentes de união para perfis estruturais de alumínio (https://www.higval.com.br/porcas-parafusos-bucha-e-conectores-elementos-fixacao-para-perfis-estruturais), 2021).....	22
Figura 8. Fixação do motor e acoplamento com o eixo, através de corrente.	23
Figura 9. Mancais de rolamento para fixação dos eixos na base da estrutura.	24
Figura 10. Pneus utilizados na montagem.	25
Figura 11. Furos nos eixos para travamento dos componentes e conjunto da roda montado, travado.	26
Figura 12. Composição da bateria de chumbo-ácido (ANKINYELE et al., 2014).....	28
Figura 13. Esquema elétrico de potência simplificado.....	29
Figura 14. Arduino UNO (https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3), 2021). ..	30
Figura 15. Arduino Mega, com identificação da portas por tipo de uso (https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/), 2021).	31

Figura 16. Placa OSMC adquirida do trabalho anterior (RODRIGUES FILHO, 2019).	32
Figura 17. Comando PWM aplicado a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% (CEDRON, 2021)	33
Figura 18. Esquema dos optoacopladores mais usuais do mercado (< https://eletronicabr.com/forums/topic/167665-optoacoplador-4n25-x-pc817/ >. 2021).	34
Figura 19. Algoritmo a ser seguido pelo código de programação.	39
Figura 20. Robô na configuração do início do trabalho.	39
Figura 21. Cantoneira de apoio para fixação da bateria	40
Figura 22. Cantoneira de alumínio, usada para fixação do mezanino onde ficam os componentes eletrônicos	41
Figura 23. Mezanino fixado através usando cantoneiras de alumínio e parafusos ...	42
Figura 24. Abraçadeira de aço, para retenção das baterias na direção vertical.....	42
Figura 25. Informações de funcionamento dos motores (RODRIGUES FILHO, 2019)	43
Figura 26. Conector split bolt (< https://www.eleetrotrafo.com.br/conector-split-bolt-10-mm-pf-10-intelli-02140002/p >, 2021).	44
Figura 27. Montagem de um conector split bolt (< https://www.casadoeletricistasc.com.br/conector-split-bolt-pf-10-0mm2/p/58 >, 2021).....	44
Figura 28. Optoacoplador PC817 (< https://www.byteflop.com.br/pc817-ci-optoacoplador >, 2021)	46
Figura 29. Bateria Moura MA18-D (< https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1172382348-bateria-moura-ma18d-ytx20lbs-honda-gl1800-gold-wing-06a15-cy-JM >, 2021).....	47
Figura 30. Tomada tipo N - Padrão Brasil (< https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2017/01/conheca-os-diferentes-tipos-de-tomada-e-saiba-o-porque-de-tantos-modelos.html >, 2021).....	48
Figura 31. Plugs machos tipo N, com identificação da bateria e do motor.....	49
Figura 32. Eixos e engrenagens após aplicação do gel para remoção de oxidação.	50
Figura 33. Superfície do assoalho após aplicação do gel para remoção de oxidação.	50

Figura 34. Fundo antioxidante, para proteção de metais (https://www.magazineluiza.com.br/fundo-preparador-para-metais-super-galvite-branco-36-litros-sherwin-williams/p/acf63fefk7/cj/essi/ , 2021).	51
Figura 35. Assoalho e cubos de roda após aplicação do fundo antioxidante.....	51
Figura 36. Fixação Arduino no mezanino	52
Figura 37. Fixação placa OSMC no mezanino (superfície superior).....	52
Figura 38. Fixação placa OSMC no mezanino (superfície inferior).....	53
Figura 39. Fixação do motor no assoalho	53
Figura 40. Região de fixação da protoboard, através de fita dupla face	54
Figura 41. Fixação do plug fêmea tipo N por baixo do mezanino com fita dupla face e fita isolante.....	54
Figura 42. Bateria de 12V e 1,3 Ah, utilizada no primeiro teste.	57
Figura 43. Placa OSMC com indicação do terminal onde foi ligada a bateria no primeiro teste.....	58
Figura 44. Placa OSMC com os componentes danificados após o primeiro teste. ...	59
Figura 45. Carregador de baterias Tratofon CV5AH	60
Figura 46. Método de carregamento das baterias.	61
Figura 47. CI do driver do motor soldado diretamente na placa OSMC.....	62
Figura 48. Base para montagem rápida de CIs (https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1189956879-base-para-ci-dip-40-pinos-dip40-soquete-torneado-_JM , 2021).	63
Figura 49. Corrente convencional de bicicleta (https://www.xcobikes.com.br/componentes/correntes/corrente-bicicleta-gts-6-7-8-velocidades-116-elos-indexada-serve-em-shimano-sram , 2021).	64
Figura 50. Corrente usada nos motores e corrente usada entre eixos.	64
Figura 51. Elo de emenda de corrente, usada na corrente maior (https://www.bikeplus.com.br/produto/emenda-de-corrente-kmc-10-velocidades-kmc-shimano-78567 , 2021).....	65
Figura 52. Elo de emenda corrente, usado na corrente menor (https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/roller-sul-importacao-e-comercio-ltda-/produtos/maquinas-ferramenta/emenda-de-corrente , 2021).....	65
Figura 53. Face frontal/traseira plana.....	67
Figura 54. Versão final do robô, montado.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI	Circuito Integrado
OSMC	<i>Open Source Motor Control</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RIA	<i>Robot Industrial Robot Association</i>
JIRA	<i>Japanese Industrial Robot Association</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS.....	19
2.1.	Objetivos gerais	19
2.2.	Objetivos Específicos	19
3.	JUSTIFICATIVA.....	20
4.	FUNDAMENTAÇÃO	21
4.1.	Estrutura: Perfis estruturais em alumínio com chapas de aço	21
4.2.	Sistema de locomoção	22
4.2.1.	Estrutura física	22
4.2.1.1.	Sistema eletroeletrônico	27
4.2.1.1.1.	Potência	27
4.2.1.1.2.	Comando e controle	29
4.2.1.1.2.1.	Arduíno	29
4.2.1.1.2.2.	Placa OSMC (Driver de alta potência)	31
4.2.1.1.2.3.	PWM.....	32
4.2.1.1.2.4.	Porta Pull-up e Pull-down.....	33
4.2.1.1.2.5.	Opto-acopladores	34
4.2.1.1.3.	Instrumentação.....	34
5.	METODOLOGIA	37
5.1.	Análise dos requisitos	37
5.2.	Especificação da solução.....	38
5.3.	Implementação da solução	39
5.3.1.	Providenciar itens faltantes partindo do projeto anterior	39
5.3.2.	Projeto do circuito elétrico de potência	43
5.3.3.	Projeto do hardware de controle.....	44
5.3.4.	Adquirir componentes eletrônicos.....	46
5.3.5.	Limpeza e remontagem do robô em razão da ferrugem	49

5.3.6.	Aquisição dos componentes de montagem faltantes	52
5.3.7.	Escrever códigos de programação	54
6.	DESENVOLVIMENTO	57
6.1.	Primeiro teste	57
6.2.	Nova fabricação das placas OSMC.....	60
6.3.	Segundo teste	61
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8.	PROJETOS FUTUROS	73
	Referências Bibliográficas.....	75
	APÊNDICES	77
	APÊNDICE A – Código de programação IDE Arduino	77
	APÊNDICE B – Lista de materiais comprados para confecção das placas OSMC	
	91	
	ANEXOS.....	92

1. INTRODUÇÃO

O tema da robótica móvel vem ganhando mais espaço a cada dia. Conforme o tempo passa, novos atributos são desenvolvidos, e com isso o robô não só é desejado para substituir o ser humano em atividades perigosas e em funções que não gostamos de realizar, como movimentos muito repetitivos e manipulação de cargas pesadas, mas também é uma forma de garantir qualidade e repetibilidade no processo realizado. Isso acontece porque um robô realiza movimentos com uma precisão e acurácia que um ser humano dificilmente conseguiria, por mais que praticasse, principalmente por muitas vezes consecutivas.

Além disso, novas tecnologias fazem com que os robôs exerçam tarefas complexas no lugar do ser humano, por consequência fazem com que o ser humano não precise estar presente. Por mais que exista uma discussão sobre a substituição do trabalho humano por robôs e os prejuízos disso para o ser humano, é inegável a contribuição que os robôs podem dar, uma vez que isentam o ser humano de estar em situações onde não se conseguiria ir, ou talvez não se conseguiria permanecer por muito, sem risco de sofrer danos graves.

Um exemplo é a exploração de Marte. Em 1971, os então soviéticos lançaram o primeiro robô que tocou solo marciano, e nos enviou algumas informações. Marte 3 era a sonda que conseguiu aterrizsar no planeta vermelho, porém aterrizou em meio a uma tempestade de areia, que a danificou após vinte segundos, só tendo sido possível enviar uma foto. Imagine um ser humano nessa situação. Em 2012, o robô Curiosity (figura 1) fez um pouso perfeito em Marte e ficou um bom tempo fazendo análises físico-químicas no planeta.



Figura 1. Robô curiosity na superfície de Marte.

(<https://pt.wikipedia.org/wiki/Explora%C3%A7%C3%A3o_de_Marte#/media/Ficheiro:PIA16239_High-Resolution_Self-Portrait_by_Curiosity_Rover_Arm_Camera.jpg>, 2021).

Mas, para trazer um exemplo mais próximo da realidade da maioria da população, existem robôs projetados para resgatar pessoas em escombros. As vantagens da utilização de robôs em situações como essa são diversas, mas principalmente relacionadas à segurança. O principal fator é que esses ambientes geralmente apresentam risco constante de um novo colapso, e o terreno é de difícil acesso, com pedras e pedaços de construção que podem ter pontas e machucar alguém que transitar por ali. Além disso, um robô pode exercer mais força que um ser humano na remoção dos escombros. Na figura 2, vê-se um robô usado para limpar áreas devastadas pelo tsunami no Japão.



Figura 2. Robô de limpeza de áreas devastadas no Japão.

(<<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2011/04/robo-de-resgate-pode-limpar-areas-devastadas-por-tsunami-no-japao.html>>, 2021)

O termo “robô” vem da palavra tcheca *robota*, que significa trabalho forçado, isso porque os primeiros robôs eram basicamente uma junção de pesos e bombas pneumáticas, para realizar trabalhos pesados. Hoje em dia, com a evolução dos robôs e sua diversificação, além de aumentarem muito os campos de atuação, algumas instituições têm definições que buscam padronizar o conceito.

A RIA (*Robotic Industry Association*) define robô da seguinte forma: “Robô é um manipulador multifuncional reprogramável projetado para movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais seguindo movimentos programados variáveis, tendo por objetivo a realização de tarefas variadas”.

Já a JIRA (*Japanese Industrial Robot Association*) define robôs segundo seis diferentes classes:

- Classe 1: dispositivo com vários graus de liberdade, totalmente controlado por um operador;
- Classe 2: dispositivo que executa automaticamente sucessivos estágios de uma tarefa de acordo com um método difícil de ser modificado;
- Classe 3: classe 2 com método fácil de modificação pelo operador;

- Classe 4: executa a tarefa de forma automática, desde que a tarefa seja antes integralmente executada pelo operador;
- Classe 5: executa a tarefa de forma automática, com operador precisando apenas fornecer um programa para sua execução;
- Classe 6: executa a tarefa de forma autônoma, com a habilidade de executar a tarefa mesmo que ocorram modificações no ambiente.

Mas de modo geral, pode-se dizer que um robô é um conjunto de dispositivos eletrônicos, eletromecânicos ou biomecânicos que atuam como um sistema integrado, podendo realizar tarefas de maneira autônoma, pré-programada ou através de controle humano.

Uma forma de classificá-los, e que é bastante convergente com a abordagem desse trabalho, é pelo meio de locomoção, podendo eles ser terrestres, aéreos ou aquáticos.

Entre os robôs terrestres, temos os que se locomovem através do uso de rodas, esteiras, como o robô de limpeza das áreas afetadas pelo tsunami citado anteriormente, utilizado no Japão (figura 2), ou que utilizam pernas, podendo ser bípedes, quadrúpedes, entre outros. Um exemplo são os robôs da *Boston Dynamics* (figura 3).



Figura 3. Robôs de movimentação por pernas, Boston dynamics
(<https://www.portalamazonida.com.br/robos-mostram-que-sabem-dancar-em-video-da-boston-dynamics-assista/>. 2021).

Os robôs aéreos podem ser drones, quadrirotores, e até pequenos aviões. Todos eles entram na classificação de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Eles têm uma vasta aplicação no meio militar, mas recentemente chamaram atenção em uma outra forma de utilização, entregando encomendas, pela empresa Amazon (figura 4).



Figura 4. Drone entregador de encomenda da Amazon
(<<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/05/entenda-diferenca-entre-drone-e-vant-e-suas-aplicacoes-praticas.html> >, 2021)

Figura 4. Drone entregador de encomenda da Amazon
(<<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/05/entenda-diferenca-entre-drone-e-vant-e-suas-aplicacoes-praticas.html> >, 2021)

Por último, os robôs aquáticos, podem ser tanto de superfícies quanto subaquáticos, e autônomos ou operados remotamente. Na figura 5, vemos um robô usado para exploração subaquática.



Figura 5. Robô de exploração para fauna e flora marinhas
(<<https://www.inteligenciaartificial.me/peixe-robo-pode-ajudar-cientistas-espionar-vida-marinha/>>, 2021).

2. OBJETIVOS

Para nortear a realização desse trabalho, os objetivos variam entre objetivos gerais, e alguns objetivos específicos, dentro desses objetivos gerais. Então esses grupos serão tratados em subtópicos distintos.

2.1. Objetivos gerais

Montar o robô terrestre de quatro rodas e implementar o sistema básico de controle de navegação para ser usado na lavoura cafeeira.

2.2. Objetivos Específicos

- Complementar a montagem física do robô pré-existente (RODRIGUES FILHO, 2019);
- Definir e implementar sistema de navegação;
- Implementar o sistema de controle.

3. JUSTIFICATIVA

Esse trabalho consiste na prototipagem de um robô terrestre para ser usado na lavoura cafeeira, com implementação de um sistema de controle que propicie o mesmo ser autônomo, para ganho de produtividade através da eliminação da necessidade de um operador dedicado.

O uso desse robô em lavoura cafeeira se dá principalmente em razão das características da própria planta, que tem uma copa grande e que impede a visão de cima. Dessa forma, se torna inviável o uso de drones, por exemplo, que é uma prática cada vez mais difundida na tomada de decisões na lavoura através de uma base de dados muito mais robusta que a simples análise humana.

Após concluído, o resultado desse trabalho servirá de base para projetos subsequentes, principalmente na área de navegação autônoma aplicado a ambientes externos, com oportunidade de uso de visão computacional, geolocalização e diversas tecnologias que podem contribuir principalmente no meio agrícola. Esse tipo de aplicação, além de ser um direcionamento da elaboração desse projeto, também é um campo de atuação muito vasto no Brasil e com grande potencial de avanço tecnológico, então certamente é um ramo a ser explorado, e onde os investimentos têm grande potencial de gerar novas tecnologias, que venham a contribuir com a sociedade no futuro.

4. FUNDAMENTAÇÃO

A composição desse robô móvel tem três grupos principais, a estrutura física base, que dá forma, rigidez e abriga os demais componentes; e o sistema de locomoção, que pode ser dividido em dois, a parte estrutural, com os eixos, mancais, rodas e transmissão, e a parte eletroeletrônica, tanto com a geração de potência para os eixos, quanto com a parte de comando e controle, que é bem menos expressiva em consumo de energia, porém igualmente importante na eficácia da movimentação, pois é a parte responsável pela interface a tomada de decisão da movimentação, que comanda todo o sistema.

4.1. Estrutura: Perfis estruturais em alumínio com chapas de aço

A estrutura é um dos componentes-chave de um robô móvel. Seus principais objetivos são servir de base para a fixação de outros componentes, proteger o veículo como um todo e principalmente fornecer rigidez, dando forma ao veículo e conectando os componentes que geram a tração, permitindo assim a manobrabilidade do veículo (PINTO FILHO, 2004).

Nesse caso, em específico, quando se pensa nas aplicações do robô, vê-se a necessidade de selecionar adequadamente o material que vai compor essa estrutura, pois além de desempenhar as funções citadas anteriormente, também tem-se duas necessidades particulares. A primeira delas é a capacidade de resistir à corrosão, por ser um robô projetado para ambientes externos. A segunda é a redução do peso final, já que se trata de um robô móvel, então quanto mais leve, maior a autonomia e a capacidade de locomoção. Com isso, optou-se por usar aço somente para algumas partes da estrutura que precisavam de maior rigidez, como o assoalho, onde estão fixos os motores e os mancais das rodas, enquanto as barras que formam a gaiola foram projetadas em alumínio (RODRIGUES FILHO, 2019).

Outra vantagem particular do alumínio se dá em razão do dinamismo de montagem dos perfis estruturais, que permitem uma variedade de montagens muito maior que perfis de aço. A montagem é mais fácil pois pode ser feita sem necessidade de nenhum serviço profissional como solda, já que os perfis estruturais (figura 6) são facilmente fixados uns aos outros através dos componentes de junção (figura 7), em geral através de parafusamento.



Figura 6. Perfil estrutural em alumínio (<https://www.aluminio.ind.br/MLB-708273497-perfil-de-aluminio-estrutural-modular-40x40-basico-_JM>, 2021).



Figura 7. Componentes de união para perfis estruturais de alumínio (<<https://www.higval.com.br/porcas-parafusos-bucha-e-conectores-elementos-fixacao-para-perfis-estruturais>>, 2021)

4.2. Sistema de locomoção

4.2.1. Estrutura física

Em se tratando especialmente da estrutura física do sistema de locomoção, pode-se resumir a explicação como sendo a de um sistema movido por um motor

elétrico, com transmissão de potência realizada por corrente, com o auxílio de algumas engrenagens para a redução.

O motor está preso no assoalho do robô, parafusado, e ao girar, sua engrenagem movimenta uma corrente, que também se encontra acoplada a uma engrenagem maior, por sua vez acoplada no eixo que vai até as rodas (figura 8). Assim o movimento é transmitido do motor para um dos eixos.

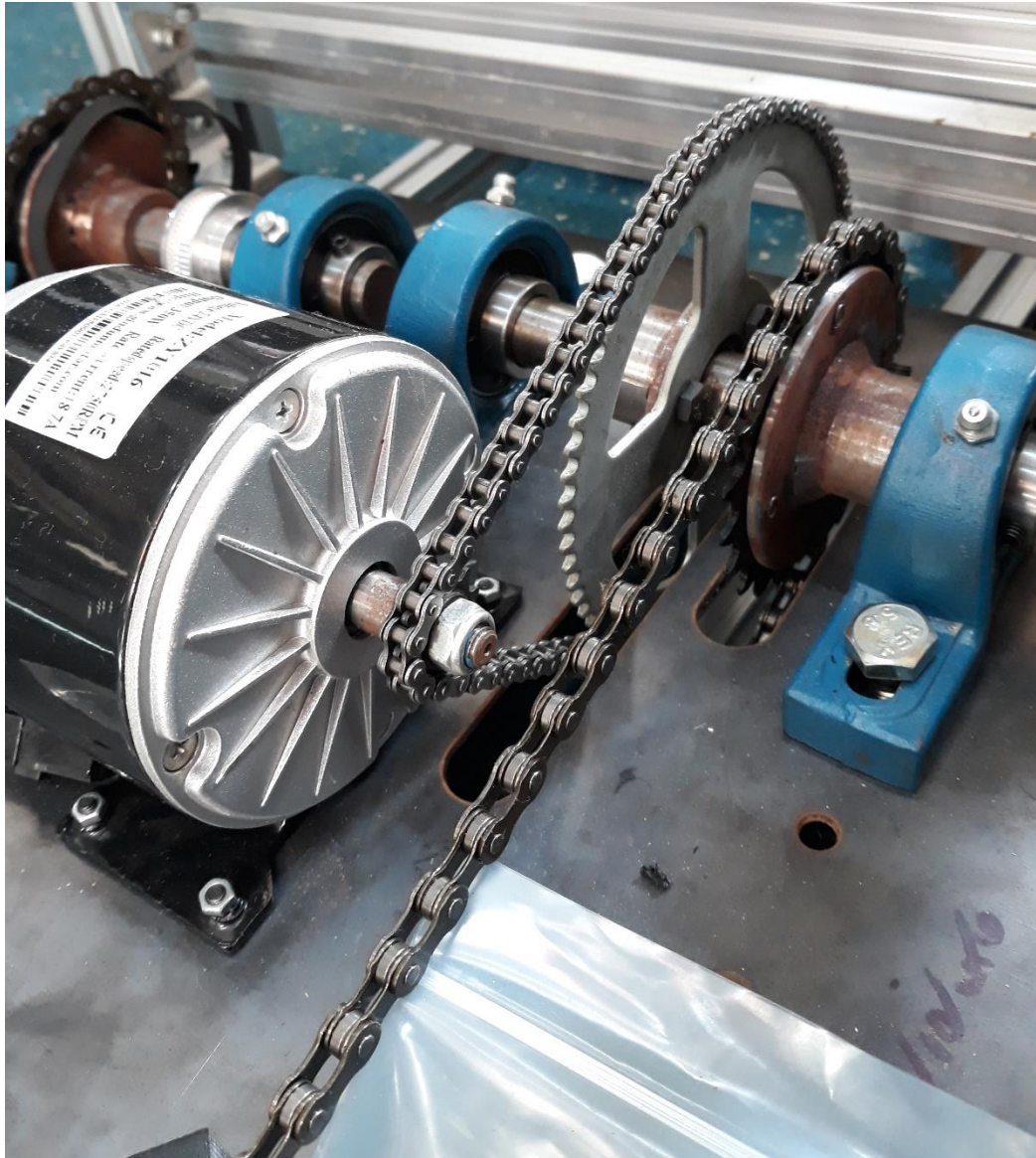


Figura 8. Fixação do motor e acoplamento com o eixo, através de corrente.

O eixo está fixado no veículo através de mancais de rolamento parafusados no assoalho rígido de aço, e estão totalmente imóveis em relação à estrutura do veículo. A na figura podemos ver a indicação de onde estão posicionados os mancais de cada eixo, e como eles estão fixados. O uso dos mancais acontece da mesma forma nos 4

eixos, sendo dois mancais por eixo, com todos os componentes (exceto rodas) posicionados na região entre esses mancais.

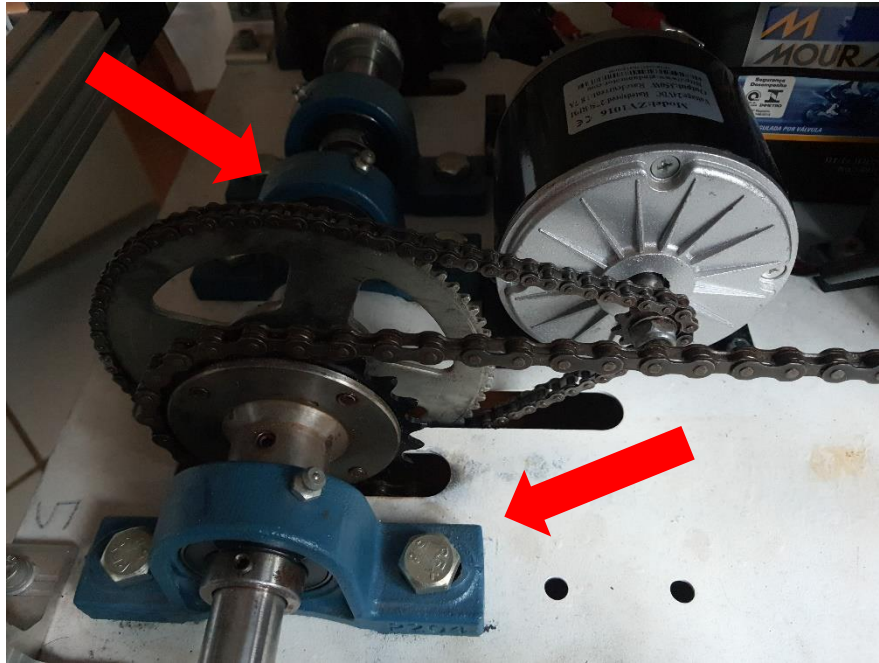


Figura 9. Mancais de rolamento para fixação dos eixos na base da estrutura.

Quando o eixo é então movido pelo motor, faz girar junto o cubo de roda, ao qual está acoplado, sem nenhuma relação de redução, ou seja, a velocidade angular do eixo é sempre a mesma da roda.

Finalmente, após a potência chegar à roda, a propulsão do robô é realizada através de pneus. Visualmente se parece com um veículo de passeio, com 4 rodas, sendo duas na frente e duas atrás, de cada um dos lados, mas há algumas diferenças. Nesse projeto os pneus têm importância fundamental no amortecimento enquanto o robô se encontra em movimento, já que todo o resto da estrutura é rígida, apenas os pneus possuem amortecimento. Essa escolha se deu em razão de simplicidade de projeto, uma vez que não interferiria no objetivo principal do mesmo, nem positiva nem negativamente.



Figura 10. Pneus utilizados na montagem.

Todos os acoplamentos no eixo são feitos através de travamento, usando os parafusos dos componentes (ora engrenagem, ora cubo de roda, ora rolamento) como chavetas. Para isso, foram feitos furos nos eixos, na direção do raio, de modo a abrigar os parafusos. Assim, quando o eixo gira em qualquer direção, os parafusos travam os dois componentes que estão acoplando, fazendo com que não haja movimento relativo entre eles. É o mesmo princípio de funcionamento de uma chaveta.

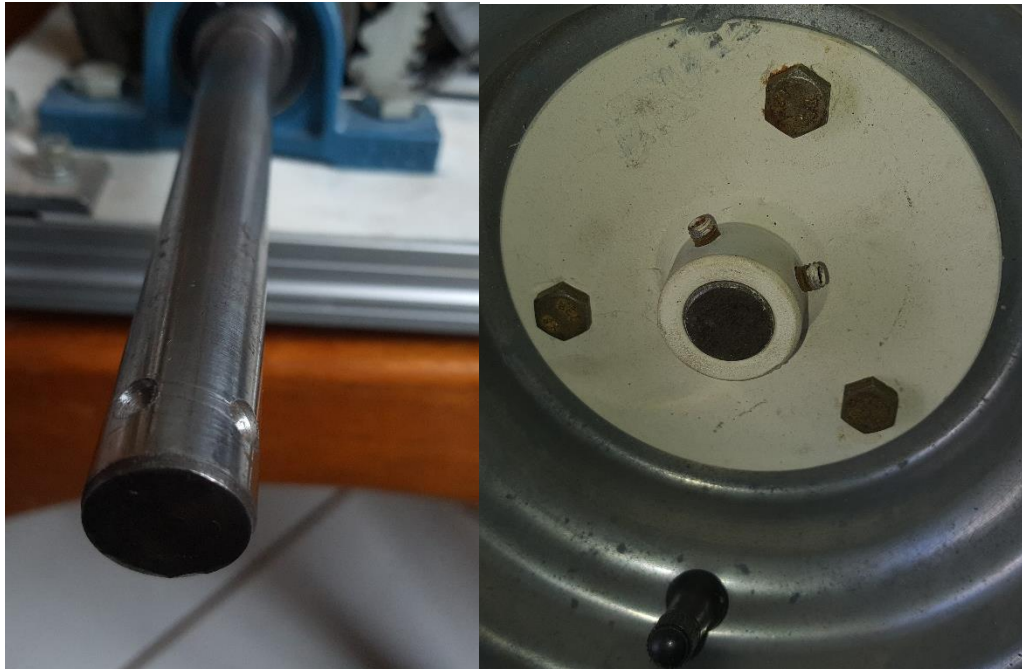


Figura 11. Furos nos eixos para travamento dos componentes e conjunto da roda montado, travado.

Apesar de parecer um veículo convencional, algumas diferenças são bastante importantes. A primeira delas é que esse robô não rotaciona nenhuma de suas rodas em torno de um eixo vertical, como as rodas dianteiras de um veículo que segue a configuração de Ackerman. Ao invés disso, esse robô tem sua configuração de rodas no modelo diferencial, onde todas as rodas possuem um único grau de liberdade, que é o movimento de rotação junto aos eixos aos quais estão presas (RODRIGUES FILHO, 2019).

Com isso, a alternativa para que ele pudesse mudar de direção é fazê-lo girar em torno do seu eixo vertical central, e isso é possível fazendo com que as duas rodas de um mesmo lado girem no mesmo sentido e na mesma velocidade, enquanto as duas rodas do outro lado giram também na mesma velocidade das duas primeiras, porém em sentido contrário. Esse tipo de movimento é também um atributo muito importante dada a aplicação do robô, pois ele tem as dimensões próprias para caber em uma rua de uma lavoura de café. Ou seja, não haveria espaço para uma manobra convencional, cujo centro de rotação é um ponto fora do próprio veículo. Nesse caso não é um problema, pois, com o robô girando em torno do próprio eixo central, sem sair do lugar, o espaço necessário é o menor possível, correspondendo somente às próprias dimensões físicas do robô.

Para permitir esse movimento, são usados dois motores, cada um sendo o propulsor das rodas de um dos lados do robô. Cada motor está acoplado a somente um eixo, porém esse eixo está acoplado por corrente ao outro eixo do mesmo lado do robô. Ou seja, um motor movimenta os dois eixos daquele lado no qual se encontra. Como o acoplamento entre os eixos é feito com engrenagens idênticas, não existe nenhuma relação de redução entre eixos, e ambos giram na mesma velocidade.

4.2.1.1. Sistema eletroeletrônico

Com relação ao sistema eletroeletrônico, podemos agrupar os componentes em basicamente duas áreas, sendo elas a parte de potência, responsável por fornecer toda a energia necessária para o funcionamento do robô, e também a parte de controle, que é o que realiza a tomada de decisões, e comanda o hardware, para que o robô desempenhe corretamente sua função.

4.2.1.1.1. Potência

A fonte de potência de todo o robô é a mesma, uma alimentação elétrica utilizando duas baterias de chumbo-ácido, tipo de bateria comum, utilizada em veículos como carros, motos, jet-skis e similares.

As baterias de chumbo-ácido comerciais são em sua grande maioria de 12,6 V, apesar de serem vendidas apenas como 12V, e nada mais são que uma sequência de seis pilhas em série, cada pilha com 2,1V. Sua estrutura usa dióxido de chumbo como eletrodo positivo e chumbo esponjoso como eletrodo negativo. Em meio a eles, o ácido sulfúrico diluído atua como eletrólito. A figura 12, abaixo, ilustra como é a divisão interna dessa bateria.

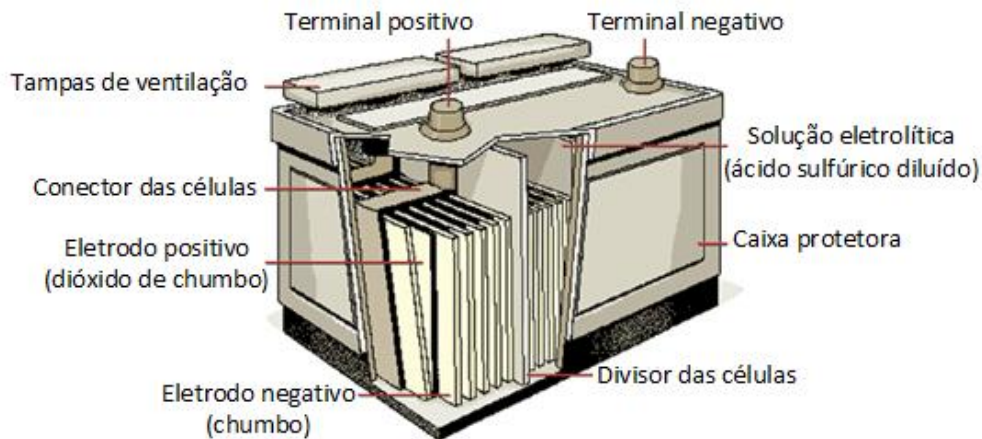


Figura 12. Composição da bateria de chumbo-ácido (ANKINYELE et al., 2014)

Um detalhe muito importante sobre essas baterias, e que faz toda a diferença em sua aplicação no dia a dia, é a característica reversível da reação química. Quando a bateria descarrega, além da liberação de energia elétrica, acontece a formação de sulfato de chumbo. Por outro lado, quando uma corrente elétrica é aplicada no sentido contrário, esse material volta a ser como era inicialmente e permite uma nova descarga da mesma bateria. Na prática, isso significa que essas baterias são recarregáveis.

Em um carro, por exemplo, o componente que realiza esse recarregamento da bateria é o alternador, mas no nosso caso, o carregador usado é um modelo comercial próprio para esse tipo de bateria, geralmente usado em oficinas mecânicas ou situações em que não existe um componente como o alternador para recarregá-la, por exemplo em barcos de pesca.

Como as placas de potência são alimentadas em 24V, foram usadas duas baterias idênticas, conectadas em série, e as duas placas de controle de potência (uma para cada motor) conectadas em paralelo com o as baterias, resultando em um circuito de potência conforme mostrado pelo esquema abaixo (figura 13) (arduino.cc).

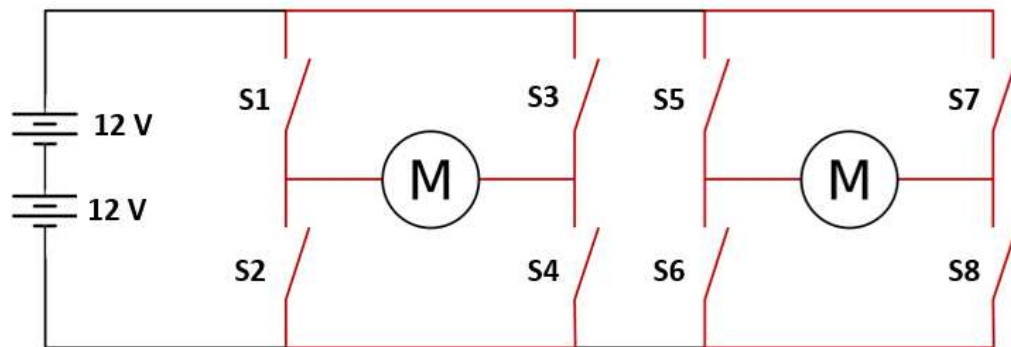


Figura 13. Esquema elétrico de potência simplificado.

4.2.1.1.2. Comando e controle

O controle do conjunto é feito basicamente através de dois componentes: um microcontrolador, onde estão armazenadas todas as informações relativas à tomada de decisão, tanto as pré-definidas quanto as dinâmicas, tomadas a partir de informações do meio, em tempo real; e um driver de alta potência para motores de corrente contínua, a placa OSMC (*Open Source Motor Controller*), que recebe o comando vindo do microprocessador e executa alguma ação através de sua atuação sobre o motor. Como os dois motores precisam ter liberdade de atuação um em relação ao outro, são necessárias duas placas OSMC em paralelo, mas ambas são controladas pelo mesmo microcontrolador, usando saídas independentes.

4.2.1.1.2.1. Arduíno

A plataforma de controle escolhida para esse projeto foi um Arduíno, muito difundido em situações de elaboração de protótipo, por ter baixo custo, facilidade de programação, facilidade de montagem e uma versatilidade muito grande de aplicações devido aos periféricos que podem ser facilmente incorporados tanto ao sistema físico, quanto a programação.

O Arduíno conta com um microprocessador Atmel, diversos terminais de entrada e saída, tanto digitais quanto analógicos e um terminal USB, usado para conexão com o computador e importação do programa criado. O terminal USB também pode ser usado apenas para energizar o dispositivo, depois que o código já tiver sido compilado e armazenado no mesmo. Também existe a opção de energizar diretamente por um outro terminal, este sendo usado somente para alimentar o circuito, o que é bastante útil em aplicações que exigem mobilidade, possibilitando que uma

pequena bateria alimente a placa. Assim a conexão de um computador ao sistema faz-se necessária apenas durante a transferência do código (arduino.cc).

A programação para esse dispositivo é feita através de uma interface chamada IDE (*Integrated, Development Environment*, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), um programa baixado gratuitamente diretamente do site oficial do produto, www.arduino.cc, e é feita em uma linguagem baseada em C/C++, porém simplificada pela existência de algumas funções já pré-definidas para o uso com os periféricos mais comuns.

O mais comum dos modelos de Arduino é o UNO (figura 14), modelo de entrada da marca.



Figura 14. Arduino UNO (<<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>, 2021).

Para esse projeto em específico, foi necessário utilizar uma placa maior, em razão do maior número de terminais. No modelo UNO, a quantidade de terminais seria insuficiente para conectar as duas placas e todos os periféricos. Com isso, a escolha foi pelo modelo MEGA (figura 15), que tem 54 portas digitais (com 15 delas oferecendo saída PWM e 6 que permitem atuação por interrupção) e 16 entradas analógicas. As saídas PWM têm fundamental importância no controle refinado do movimento do robô, conforme será especificado mais adiante nesse trabalho.

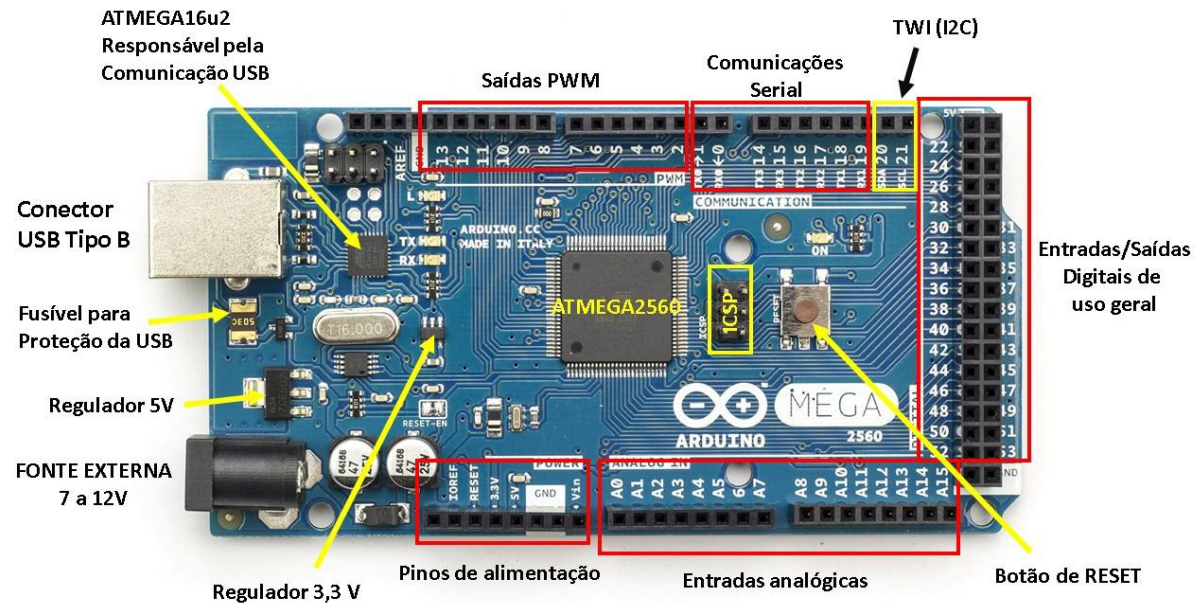


Figura 15. Arduino Mega, com identificação da portas por tipo de uso (<<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>, 2021).

4.2.1.1.2.2. Placa OSMC (Driver de alta potência)

Como essa é uma aplicação de alta corrente (até cerca de 19A), os drivers dos motores deveriam atender tal necessidade. Para isso, tinham sido selecionados anteriormente componentes de alta potência para executarem o controle de dois dos motores no robô. Esses componentes são as chamadas placas OSMC (http://robotpower.com/osmc_info/).

OSMC (*Open Source Motor Control*), é uma ponte H de alta potência. Em outras palavras, um circuito de controle de motores de corrente contínua, que pode controlá-lo nos dois sentidos, e sob intensidades variáveis, dependendo do comando exercido. Foi um projeto criado para ser usado em robôs de luta, mecanismos cujos atuadores estão sujeitos a altas cargas mecânicas e elétricas, além de necessidade de mudança rápida de velocidade e de direção, que são feitas através de mudanças bruscas na aplicação da corrente. Ou seja, é um projeto pensado exatamente para situações extremas, atendendo às especificações desse projeto, além de ser *Open Source*, denominação comum para projetos com documentação aberta, disponível para compreensão e fabricação pessoal.

Para controlar motores em condições tão adversas, além de um circuito elaborado com vários componentes eletrônicos que garantem segurança de operação e proteção da carga alimentada, conta com um driver de alta frequência especialmente desenvolvido para controle de pontes-H de alta potência, o HIP4081A (*datasheet* no Anexo – A).

Já fabricadas anteriormente (RODRIGUES FILHO, 2019), foram deixadas duas placas OSMC prontas, porém sem um projeto específico para aplicação nesse robô, que mostrasse como usá-las para controlar os motores. A figura 16 mostra as placas adquiridas no trabalho anterior.

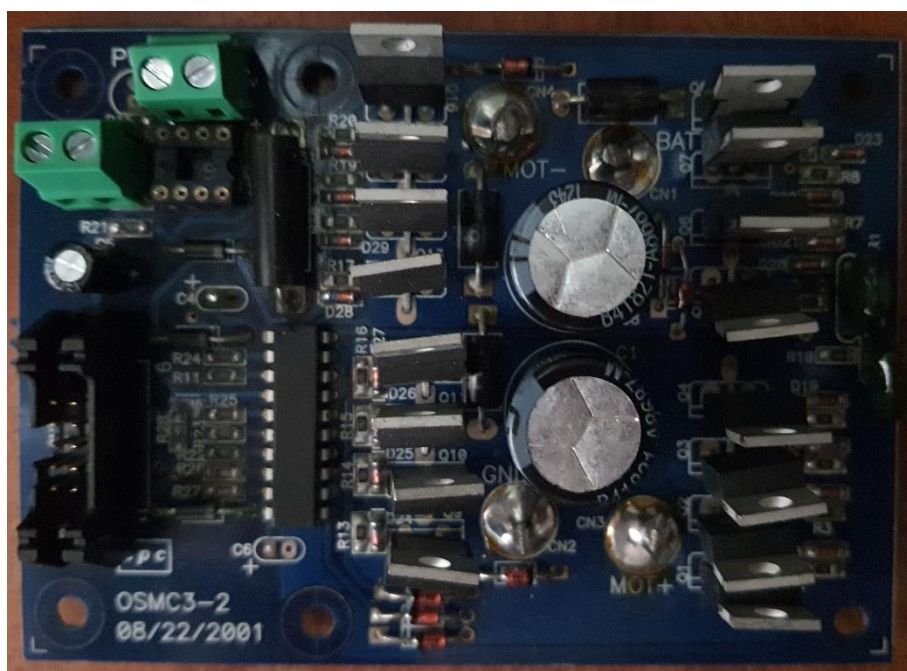


Figura 16. Placa OSMC adquirida do trabalho anterior (RODRIGUES FILHO, 2019).

4.2.1.1.2.3. PWM

PWM é uma tecnologia já bastante difundida, que permite modular a intensidade do acionamento, assim é possível ter sinais de acionamento que não são apenas binários (0 ou 1, ligado ou desligado), mas que são medidas intermediárias entre os dois extremos. Ou seja, é uma técnica para se obter resultados analógicos, usando meios digitais.

A sigla PWM vem do termo em inglês *Pulse Width Modulation*, e significa Modulação por Largura de Pulso. Na prática, aplicar um sinal PWM significa aplicar

uma tensão de valor X , por apenas um intervalo de tempo do período de aplicação desse sinal. Por exemplo: se temos uma fonte com tensão de saída de 5V (como no caso do próprio Arduino), e precisamos aplicar o equivalente a 2,5V na carga em questão, com o comando PWM, a tensão de 5V será aplicada durante a primeira metade do período de aplicação, por quantos períodos forem necessários até cessar a aplicação do sinal. A figura 17 ilustra o funcionamento do acionamento PWM em diferentes porcentagens

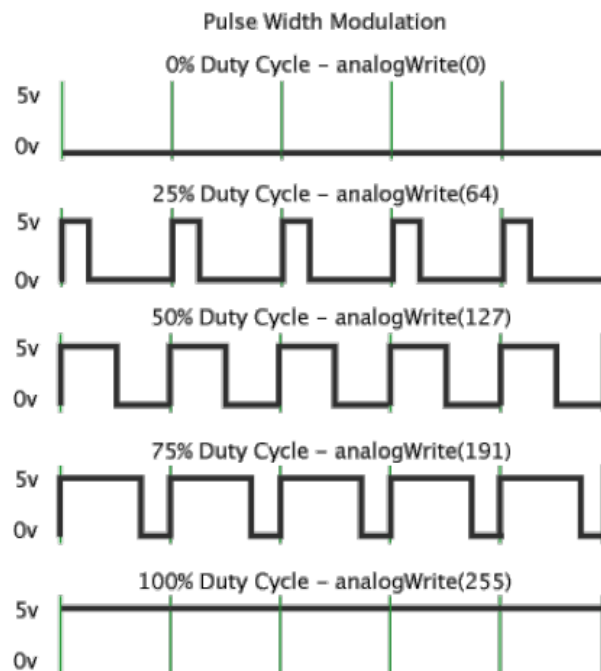


Figura 17. Comando PWM aplicado a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% (CEDRON, 2021)

4.2.1.1.2.4. Porta Pull-up e Pull-down

Para falarmos de portas Pull-up, precisamos primeiro ter firmes em mente o conceito de uma porta digital, como sendo aquela cuja saída é sempre de nível lógico baixo (*LOW*), ou de nível lógico alto (*HIGH*). Agora imaginemos um sinal que precisa sair de 0 e chegar em 5V. Esse sinal passaria por diferentes valores ao longo do caminho, como 1V, 2V, 3V e 4V, até finalmente chegar em 5V. Porém esse tipo de oscilação nos valores de tensão de saída influencia no resultado final da aplicação do sinal, portanto, quando falamos de aplicações digitais, são indesejados.

Para evitar esse tipo de variação, e não ter sinal aleatório devido às interferências eletromagnéticas dos diferentes sistemas, existem as portas *Pull-up* e *Pull-down*. Elas são construídas com resistores ligados à fonte de sinal, ou ao neutro,

respectivamente. A consequência disso é que quando um sinal não estiver sendo intencionalmente aplicado, a porta em questão vai ficar sempre com o sinal alto (se for *Pull-up*) ou baixo (se for *Pull-down*).

No Arduino temos portas preparadas para serem *Pull-up*, já com um resistor interno presente no circuito para executar essa função em algumas portas, basta configurar essa porta corretamente no código. Além disso, na placa OSMC, o terminal DIS (*Disable*) é *Pull-up*, portanto está sempre com nível lógico alto, e precisa ser conectado ao neutro para mudar o nível lógico do sinal.

4.2.1.1.2.5. Opto-acopladores

Esses dispositivos são foto transistores. De um lado temos um LED, e do outro lado uma chave semicondutora normal aberta. Quando o LED é alimentado, a luminosidade emitida por ele fecha a chave e permite a passagem de corrente.

A figura 18, a seguir, mostra um esquema gráfico do mecanismo de optoacopladores mais comuns hoje no mercado, o PC817 e o 4N25.

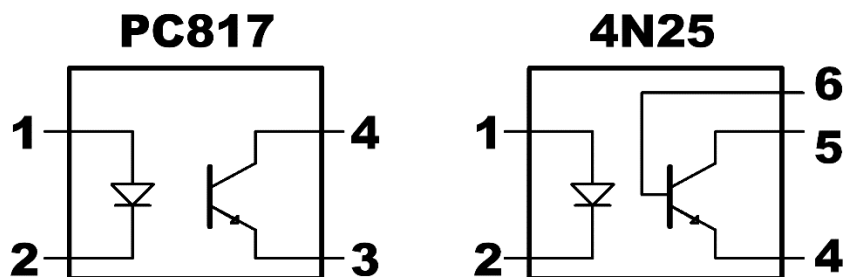


Figura 18. Esquema dos optoacopladores mais usuais do mercado (<https://eletronicabr.com/forums/topic/167665-optoacoplador-4n25-x-pc817/>. 2021).

4.2.1.1.3. Instrumentação

O objetivo da instrumentação desse robô basicamente é prover segurança, tanto para o robô em si, quanto para qualquer pessoa, animal ou até planta com a qual ele pudesse entrar em colisão. Sensores ultrassônicos foram montados, de modo a identificar obstáculos e fornecer informações ao microcontrolador, para que ele atue sobre os motores mudando a direção e, portanto, evitando a colisão.

Os sensores ultrassônicos são extremamente versáteis, sendo usados hoje em dia nas mais diversas aplicações, principalmente aquelas que se beneficiam ou que efetivamente necessitam da detecção sem contato e medição de distâncias.

Seu funcionamento é o mesmo que um morcego usa para se direcionar enquanto está voando, na medida em que emite ondas sonoras (de frequência inaudível ao ouvido humano) e depois percebe novamente essas ondas quando elas voltam na direção do emissor/receptor, após terem sido refletidas por algum obstáculo. Ciclicamente, são emitidas essas ondas sonoras, na forma de um cone, logo, o sensor só consegue captar objetos dentro da área do cone. O sinal captado é entendido pelo processador ao qual ele está conectado como sinal verdadeiro vindo do sensor através da geração de um sinal elétrico.

O grande ponto de atenção no sensor ultrassônico, é o fato de que sua interpretação não precisa ser binária, mesmo tendo como resultado final um sinal binário (onda refletida captada ou nenhuma captação). Isso acontece pois o tempo entre a emissão da onda e sua posterior captação é medido, e como a onda sonora tem velocidade conhecida, consegue-se calcular assim a distância entre o sensor e o obstáculo com precisão que pode chegar a ser milimétrica. Isso permite uma grande variedade para as quais um sensor que somente identifica a presença não seria adequado o suficiente. Inclusive, nesse trabalho essa característica de medição é um fator crucial para o bom funcionamento do sistema.

As aplicações de sensores ultrassônicos são muito diversas, tanto no meio industrial quanto no nosso dia a dia, em situações nas quais muitas vezes desconhecemos a existência de um sensor como esse. De modo geral, as aplicações giram em torno de alguns objetivos principais, que são: detecção do nível de altura, medição do diâmetro de bobinas e detecção e contagem de objetos, não importando a cor, até mesmo em ambientes com poeira ou vapor. Alguns exemplos práticos são: identificação e contagem de objetos em uma esteira de produção, posicionamento de um objeto em um ponto específico, para um robô poder atuar sobre esse objeto na sequência, controle de velocidade e até mesmo detecção de trincas, em algumas aplicações mais específicas de engenharia, tanto para pesquisa e desenvolvimento quanto para atividades industriais de manutenção.

Já no dia a dia, a aplicação mais comum que muitos têm contato, mas não chegam a saber exatamente o que estão usando, são os sensores de estacionamento de carros. Esse exemplo é especialmente interessante pois seria uma aplicação muito menos efetiva se fosse utilizado apenas um sensor por veículo, ou até mesmo um sensor na parte frontal e um na traseira. Seria uma aplicação pouco eficaz pois só conseguiríamos saber a distância entre o obstáculo e o sensor, mas não conseguiríamos saber em qual direção se encontra esse obstáculo. Mas, quando usados em conjunto, com cada um deles posicionado estrategicamente, a interpretação conjunta das diferentes leituras nos dá não só a distância do objeto, mas também sua posição, até mesmo nos carros de modelos mais simples, quando eles já têm do sensor de estacionamento.

5. METODOLOGIA

Esse trabalho foi executado sob certas premissas e seguindo certos requisitos, de modo que para algumas das escolhas, pode não ser a melhor opção tecnicamente falando. O motivo de tais decisões é que, assim como em qualquer projeto de engenharia, existem outros fatores que devem ser considerados para que se chegue a uma decisão. Um fator por exemplo é o custo.

Nesse contexto, seguem abaixo os requisitos que nortearam a realização desse trabalho.

5.1. Análise dos requisitos

Por se tratar de um projeto que é a sequência de um trabalho anterior (RODRIGUES FILHO, 2019), os requisitos aqui considerados vão além de simplesmente levar em conta a aplicação final do robô, pois também devem ser analisados os requisitos existentes em função do trabalho até então realizado. Sendo assim, a análise de requisitos tem como referência esses dois aspectos.

Serão tratados somente os requisitos que ainda não foram tratados anteriormente. Fatores já tratados, como tamanho do veículo, escolha da metodologia de movimentação, autonomia da bateria não serão analisados aqui, serão apenas citados como fatores já definidos.

Os requisitos baseados na aplicação são:

- O conjunto deve ter um sistema de controle sem fio, para ter liberdade de movimentação;
- O conjunto deve ser capaz de interpretar informações de detecção de obstáculos dinamicamente, em função do meio, para evitar colisões, já que a aplicação acontece em um trajeto não mapeado.

Além desses requisitos, existem também aqueles baseados no legado do projeto anterior, que já direcionaram algumas decisões rumo a uma solução. Essa solução necessita:

- Uso de placas OSMC como drivers dos motores de corrente contínua;
- Elaboração de um circuito de alimentação de suportasse a alta corrente dos motores, de até 19A em cada um deles;

- Definição de uma estrutura similar a um mezanino para abrigar os componentes eletrônicos;
- Lógica de acionamento que seja capaz de fazer o robô se movimentar corretamente, de acordo com a estrutura física já definida anteriormente à realização desse trabalho. Ou seja, dois motores, um para cada lado do veículo, sendo os dois eixos do mesmo lado conectados por corrente, tendo sempre mesma direção, sentido e velocidade.

5.2. Especificação da solução

Para atender o primeiro dos requisitos citados, de ter um sistema sem fios, que permita liberdade de movimentação, optou-se pela escolha de um Arduino como microcontrolador, pois ele somente precisa de conexão com um computador para descarregar o código que será a base da tomada de decisão do robô, depois o robô pode funcionar normalmente com o Arduino apenas sendo alimentado por uma bateria independente. Essa solução também se mostra muito interessante na medida em que permite que os circuitos de controle e de potência estejam fisicamente separados, protegendo o controlador.

Para permitir que o robô tenha capacidade de navegar em um meio dinâmico e imprevisível, sem que corresse risco de sofrer uma colisão, optou-se por usar sensores ultrassônicos como sensores de presença, com o intuito de detectar qualquer obstáculo à frente e atrás do robô.

Para realizar os comandos necessários, e ainda poder ler em tempo real os sinais dos sensores, que compõem o sistema de segurança anticolisão, um Arduino Mega foi o controlador escolhido. Isso pois ele permite a leitura dos sinais dos sensores, e processa as informações coletadas, tomando decisões, enquanto as portas PWM continuam emitindo o comando do motor (podendo esse comando inclusive ser variável). O Arduino UNO também apresenta esses recursos, porém o número de portas é insuficiente para realizar a montagem de todos os componentes presentes nesse projeto, por isso a escolha pelo modelo MEGA.

Por último, para validar a capacidade de detecção de obstáculos e mudança de direção, o código do robô deveria atuar conforme o algoritmo na figura 19.

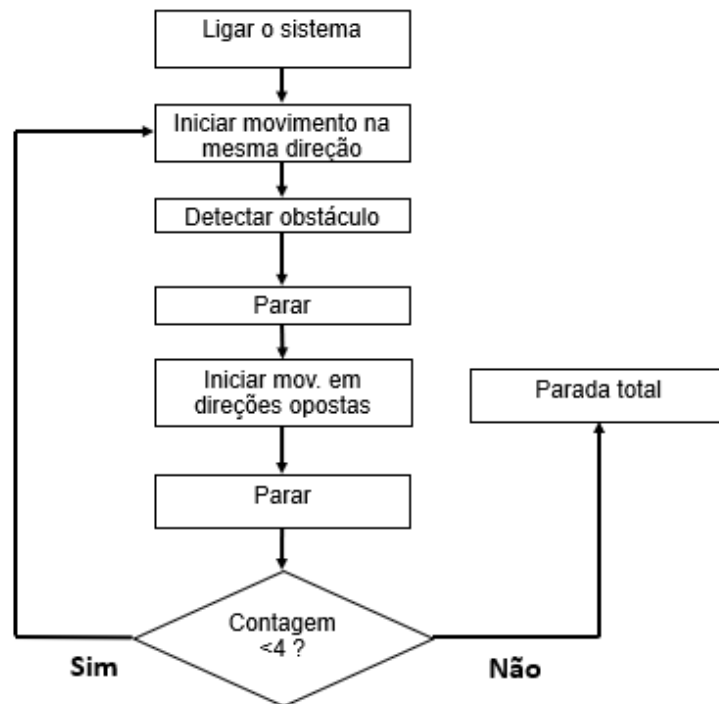


Figura 19. Algoritmo a ser seguido pelo código de programação.

5.3. Implementação da solução

5.3.1. Providenciar itens faltantes partindo do projeto anterior

A primeira etapa na realização desse trabalho consistiu na organização do que havia sido deixado como herança do trabalho anterior, tanto em termos de hardware quanto de documentação.



Figura 20. Robô na configuração do início do trabalho.

Algumas peças que servem de suporte para itens do robô tinham sido projetadas em modelo 3D, mas ainda não tinham sido fabricadas. Com essas peças, foram usadas três abordagens, por diferentes razões, conforme será explicado a seguir.

No primeiro grupo estão as peças que foram fabricadas, conforme tinham sido projetadas, em impressão 3D, no próprio MAPL. Essas peças são os apoios das baterias, uma pequena cantoneira, cuja parte horizontal é onde passa um furo, usado para fixar a peça no assoalho de aço, através de um parafuso. A face vertical é a que apoia a bateria, e a impede de movimentar para frente ou para trás (figura 21).

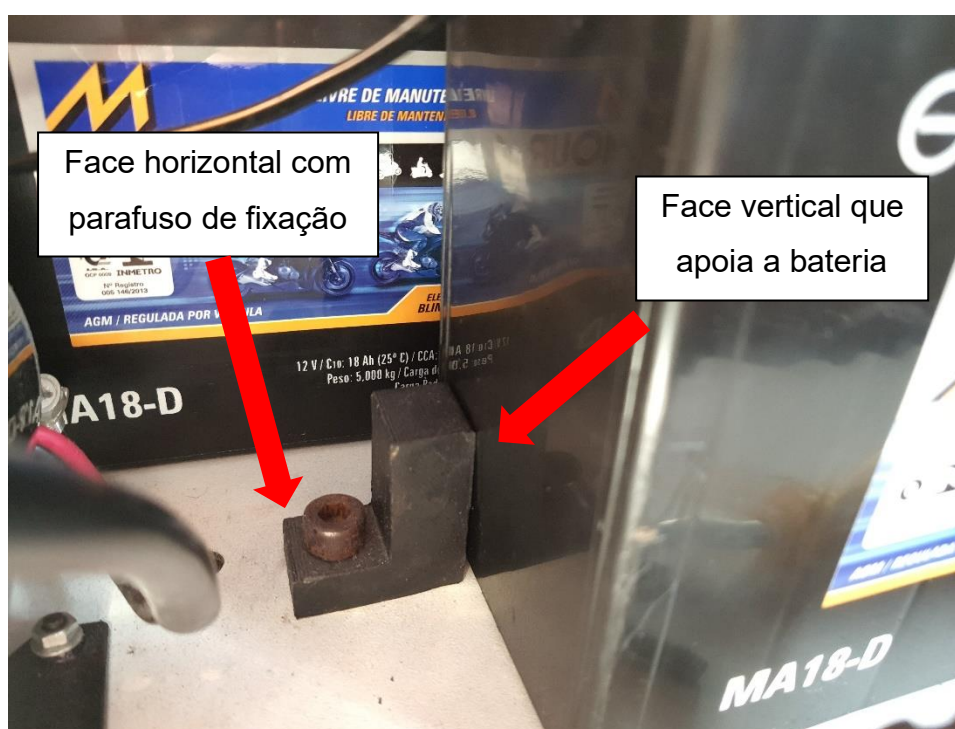


Figura 21. Cantoneira de apoio para fixação da bateria

No segundo grupo, estão peças em formato de I, seção transversal parecida com a de uma viga de aço. Essas peças tinham sido pensadas para servir como sustentação para o mezanino da parte eletrônica, fixada acima dos componentes de hardware e as baterias. A ideia de usar essas peças foi abandonada pois elas são muito compridas. Itens compridos, quando feitos em impressão 3D, normalmente apresentam baixa resistência mecânica, já que oferecem pouca resistência ao deslizamento entre superfícies paralelas sobrepostas, além de estarem mais suscetíveis a empenamentos e imperfeições de fabricação em geral, uma vez que o

resfriamento do material não acontece de maneira uniforme, como em peças menores e mais compactas.

Como alternativa para a colocação do mezanino onde ficam os componentes eletrônicos, optou-se por fabricar cantoneiras de alumínio, e usar a própria estrutura de perfis de alumínio do robô como ponto de fixação dessas cantoneiras. Assim o mezanino não ficou apoiado como era a ideia inicial, mas sim pendurado na parte mais alta da gaiola. O componente mais alto que fica no mezanino é o conjunto da placa OSMC com o cooler montado sobre ela, e esse conjunto ficaria mais alto que a estrutura do robô. Para que isso fosse evitado, foram usados parafusos compridos, fazendo com que o mezanino estivesse abaixo da superfície das cantoneiras de alumínio, a uma distância suficiente para que os coolers não ficassem mais altos que a estrutura do robô. A superfície do mezanino em si foi feita com uma placa de PVC, e foi realizada a furação nos locais de fixação dos componentes eletrônicos. As imagens abaixo (figuras 22 e 23) mostram os componentes citados nesse último parágrafo.

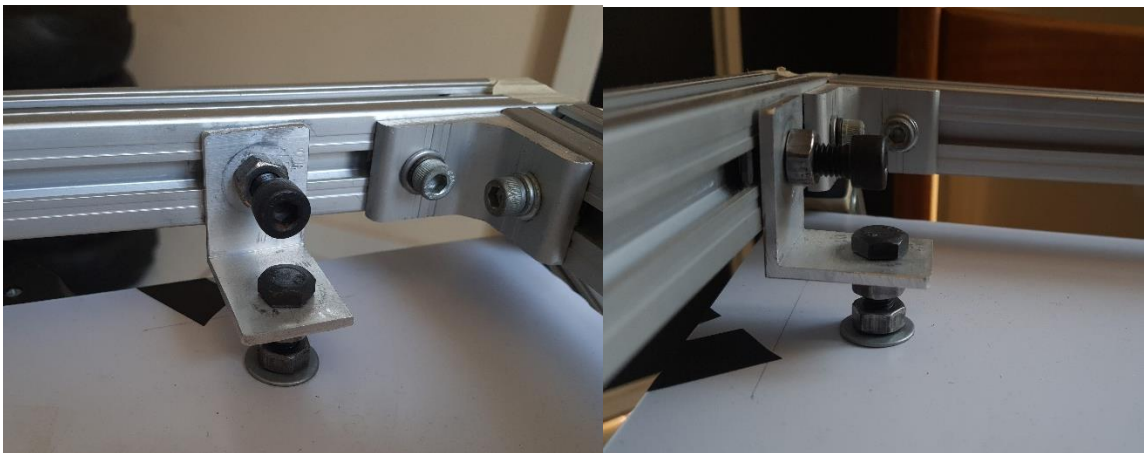


Figura 22. Cantoneira de alumínio, usada para fixação do mezanino onde ficam os componentes eletrônicos

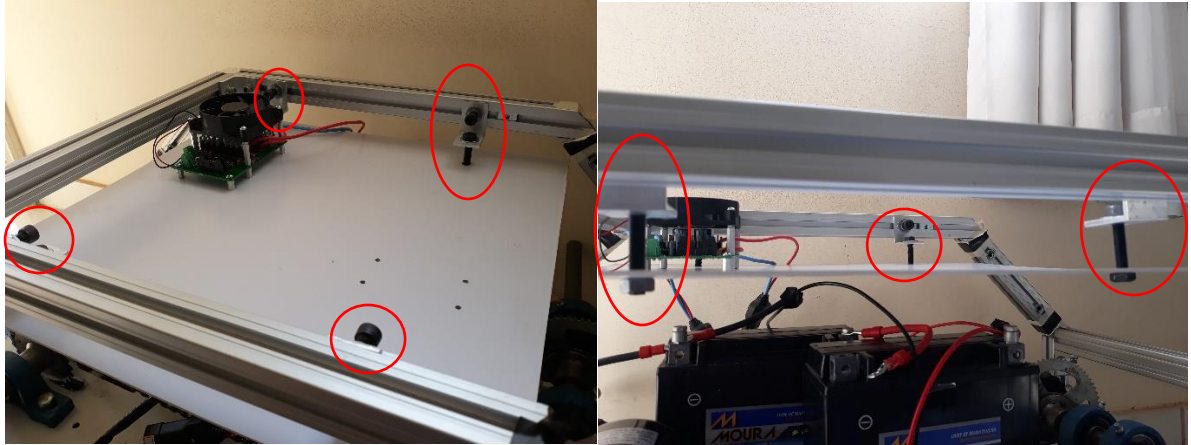


Figura 23. Mezanino fixado através usando cantoneiras de alumínio e parafusos

Por último, temos uma abraçadeira com geometria específica para se encaixar nas baterias, segurando-as e impedindo-as de se soltar da superfície do robô, na vertical. Esses itens não poderiam ser feitos em impressão 3D, por duas razões principais. Primeiro, pois era fisicamente impossível imprimi-los com o equipamento do laboratório, pois o tamanho de uma única peça excedia o tamanho máximo possível de impressão. A segunda razão é que assim como no caso do perfil em I que seguraria a parte eletrônica, poderia acontecer deslizamento entre as superfícies quando submetidas a um grande esforço, e essas peças em específico, se trabalharem, deverão suportar inteiramente o peso de uma bateria. Esse peso ultrapassa a resistência mecânica de itens fabricados seguindo o processo de sobreposição de camadas de uma impressão 3D. Por isso, esses itens foram feitos em aço conformado (figura 24).



Figura 24. Abraçadeira de aço, para retenção das baterias na direção vertical.

5.3.2. Projeto do circuito elétrico de potência

O circuito elétrico foi projetado já tendo em mente todos os componentes que seriam utilizados. As dimensões de bitola necessárias para os fios foram definidas baseadas na corrente máxima à qual cada trecho do circuito estaria submetido.

Partindo da corrente de pico especificada pelo fabricante do motor (figura 25), de 18,7A, cada ramificação do circuito, que se direciona para um motor, tem fiação de 4mm², para suportar até 20A. A parte inicial do circuito, em contato com as baterias, antes da divisão de corrente, tem dimensão 10 mm², para suportar até 40A. O dimensionamento dos condutores segue a norma ABNT NBR 5410:2004 (Anexo – B).

Condição de referência	Torque (N.m)	Velocidade de rotação (rpm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
À vazio	-	3450	24	1,8	-
Com Carga	1,21	2750	24	18,7	350

Figura 25. Informações de funcionamento dos motores (RODRIGUES FILHO, 2019)

As uniões foram feitas usando um conector *split bolt* (figuras 26 e 27), que é um parafuso feito com material condutor, e com um rasgo passante ao longo da sua rosca. Ainda tem uma peça no centro e uma porca embaixo



Figura 26. Conector split bolt (<<https://www.eleetrotrafo.com.br/conector-split-bolt-10-mm-pf-10-intelli-02140002/p>>, 2021).

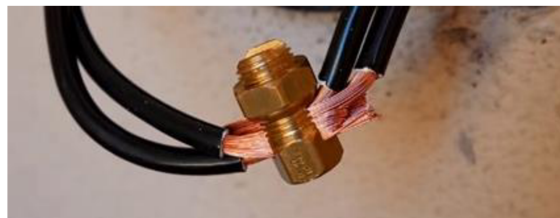


Figura 27. Montagem de um conector split bolt (<<https://www.casadoeletricistasc.com.br/conector-split-bolt-pf-10-0mm2/p/58>>, 2021).

Depois de posicionar os fios condutores nos diferentes vãos do conector, basta apertar a porca para fixar todo o conjunto.

5.3.3. Projeto do hardware de controle

A definição do hardware de controle foi feita levando em consideração as placas OSMC, que são os drivers dos motores. Seu acionamento é feito da seguinte forma: primeiro é necessário colocar a porta DIS (*Disable*) no nível zero (terra), a partir daí os comandos estão habilitados. Se essa porta estiver com sinal em lógico alto ou sem sinal nenhum, ela naturalmente já interpretará como nível alto, pois é uma porta *Pull-up*. Assim, os demais comandos serão desabilitados.

Após habilitar o acionamento da placa através do comando citado anteriormente, para fazer o controle do robô propriamente dito, basta emitir um sinal

PWM e a potência será transmitida ao motor, na porcentagem definida. É preciso ficar atento e não enviar sinal nos dois sentidos ao mesmo tempo. O próprio driver da placa OSMC já conta com um circuito de proteção que não abre ambos simultaneamente, então não acontecerá um acidente, e a placa não será danificada, porém o sistema não vai funcionar.

Para proteger o Arduino, que funciona com baixa corrente, e apenas 5-12V, o circuito foi fisicamente dividido em duas partes. Uma delas é exclusiva para o Arduino, e alimentada via USB ou com uma bateria de 9V, e a outra é alimentada pelas baterias do robô, que em série compõem uma fonte de 24V, de alta corrente.

Para viabilizar essa montagem, foram usados opto-acopladores. Um detalhe importante é que esse mecanismo tem frequência máxima de operação maior que o dobro da frequência do sinal PWM do Arduino, portanto ele consegue reproduzir fielmente o sinal PWM na placa OSMC. Assim sendo, não existe limitação em termos de hardware para aplicação desse comando, fazendo com que o circuito funcione normalmente como se o Arduino estivesse diretamente conectado à placa OSMC. Porém fisicamente o controlador está isolado eletricamente e protegido contra qualquer sobrecorrente ou sobretensão às quais poderia estar submetido em uma ligação direta.

O modelo usado nesse trabalho é o PC817 (esquema da esquerda, na figura 19), por ser suficiente, e de uso mais simples. Na porta 1 é conectado o terminal Arduino com sinal PWM, na porta 2 é conectado o neutro do Arduino. Vale lembrar que é necessário usar um resistor nesse circuito de acionamento para proteger o Arduino contra curto circuito. Na porta 4 é conectado um sinal alto de 12V, que a própria placa OSMC fornece através de um regulador de tensão embutido em seu circuito, e na porta 3 é conectado o fio que vai até o terminal de acionamento da placa OSMC. Aqui, diferentemente do lado do Arduino, não é necessário usar nenhum resistor, pois o circuito da placa já tem resistores, e não existe risco de curto circuito. Todos os terminais de acionamento das placas OSMC foram alimentados através dessa montagem. Dessa forma, assim que o circuito entre 1 e 2 é energizado, o fototransistor fecha o circuito entre os pontos 3 e 4, e, portanto, o terminal que estiver conectado na porta 3 receberá energia, sendo acionado.

O modelo do optoacoplador PC817 usado nessa montagem pode ser visto na figura 28, e o *datasheet* está no ANEXO – C.



Figura 28. Optoacoplador PC817 (<<https://www.byteflop.com.br/pc817-ci-optoacoplador>>, 2021)

5.3.4. Adquirir componentes eletrônicos

Alguns materiais já tinham sido adquiridos no projeto anterior ou já estavam disponíveis no laboratório, como o próprio veículo (a estrutura metálica), os motores, as placas OSMC e os sensores ultrassônicos. Outros tiveram que ser adquiridos.

Entre os que precisaram ser adquiridos, tem-se um único item que já havia sido definido, a bateria. O modelo Moto MA18-D, da Moura, de 12V e 18Ah



Figura 29. Bateria Moura MA18-D (<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1172382348-bateria-moura-ma18d-ytx20lbs-honda-gl1800-gold-wing-06a15-cy-_JM>, 2021).

As duas baterias do mesmo modelo foram adquiridas novas. Quando chegam, têm com um reservatório de água destilada a parte, para ser colocada na bateria. Depois a bateria é fechada, para não ser mais aberta. Após essa primeira preparação, pode ser usada e recarregada quantas vezes for necessário.

Os componentes elétrico-eletrônicos de modo geral também precisaram ser adquiridos. Entre eles, pode-se também fazer a distinção nas duas partes principais: o circuito de potência e o circuito de comando e controle. Para o de potência foram comprados olhais, a fiação especificada anteriormente, e plugs de tomada tipo N (que é o padrão no Brasil) (figura 30).



Figura 30. Tomada tipo N - Padrão Brasil

(<<https://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2017/01/conheca-os-diferentes-tipos-de-tomada-e-saiba-o-porque-de-tantos-modelos.html>>, 2021)

Foram duas as razões que levaram a escolher esse tipo de plug para fazer as conexões no circuito de alimentação. Uma delas é que esse tipo de dispositivo facilita a montagem e a desmontagem, o que se mostra uma característica importante, uma vez que se é interessante manter o sistema energizado enquanto estiver sendo utilizado, para uso mais eficiente e conservação das baterias. O segundo motivo é que seu design com 3 pinos só permite uma posição de montagem, e isso é extremamente importante para o funcionamento adequado, pois o circuito é todo monofásico, então o sentido de aplicação de corrente deve ser sempre o mesmo para estar coerente com a lógica de acionamento. Caso contrário, o mesmo código aplicado no Arduino poderia fazer o robô funcionar em sentidos contrários, se a conexão fosse invertida, ou pior ainda, cada motor seguindo uma lógica, se um deles fosse ligado da forma planejada e o outro de forma invertida. Também existiria a possibilidade de conectar a fiação entre as baterias e as placas OSMC ao contrário, nesse caso o dano seria total e permanente para as placas, e talvez até mesmo para as baterias. Portanto é imprescindível que as conexões sejam todas realizadas sempre da mesma forma.

Logo, a impossibilidade de montar o circuito invertido funciona como um *poka yoke* de prevenção, garantindo o bom funcionamento do robô. Além disso, tanto as conexões entre a placa OSMC e as baterias, quanto entre as placas OSMC e os

motores usam o mesmo tipo de plug N, portanto para identificá-los corretamente, foram colocados adesivos de identificação, conforme figura 31, abaixo:



Figura 31. Plugs machos tipo N, com identificação da bateria e do motor.

5.3.5. Limpeza e remontagem do robô em razão da ferrugem

Entre o término do projeto anterior e o início deste, passaram-se alguns meses. Nesse tempo ocorreu um processo de oxidação de algumas partes da estrutura, acelerado em um episódio em que houve infiltração na construção da sala onde estavam armazenados, molhando as partes metálicas, principalmente as chapas de aço e os eixos. A oxidação dos eixos inclusive era um forte impeditivo de montagem e desmontagem, devido à pequena tolerância de montagem com as engrenagens e os rolamentos dos mancais.

Então, antes de prosseguir com a montagem final do robô, foi feita uma desmontagem quase completa, a única exceção foi a gaiola de alumínio, que não estava oxidada. Isso permitiu que ela fosse retirada por completo, sem desmontar, e depois recolocada na estrutura, formando novamente a carcaça do conjunto. Após desmontar, a oxidação foi retirada através do uso de solução caseira de vinagre e amido de milho (THENÓRIO, 2020). A solução fica com a consistência de um gel, e absorve a oxidação depois de algumas horas sobre a superfície. Depois disso, basta

limpar as peças e o gel sai, levando consigo a oxidação. As figuras 32 e 33 mostram os elementos metálicos no dia seguinte à aplicação do gel, antes de ele ser removido.



Figura 32. Eixos e engrenagens após aplicação do gel para remoção de oxidação



Figura 33. Superfície do assoalho após aplicação do gel para remoção de oxidação.

Antes de remontar o conjunto, alguns itens passaram por uma aplicação de fundo protetor antioxidante (figura 34), para evitar reincidência da oxidação.



Figura 34. Fundo antioxidante, para proteção de metais
(<https://www.magazineluiza.com.br/fundo-preparador-para-metais-super-galvite-branco-36-litros-sherwin-williams/p/acf63fefk7/cj/essi/>, 2021).

Os itens que passaram por essa aplicação foram o assoalho e os cubos de roda (figura 35), pois eram os itens mais críticos antes da limpeza, e também os que permitiam esse tipo de aplicação. Nos eixos, por exemplo, não é possível realizar esse tipo aplicação pois o conjunto não monta, devido à tolerância de montagem que é muito justa. É necessário que a superfície externa dos eixos, bem como a superfície interna dos mancais e engrenagens estejam devidamente limpas.



Figura 35. Assoalho e cubos de roda após aplicação do fundo antioxidante

5.3.6. Aquisição dos componentes de montagem faltantes

Após ter definido todos os itens e chegado na configuração final do robô, ainda era necessário fixá-los na posição final. Para isso, foi feita uma relação de parafusos, porcas e arruelas faltantes, todos eles foram adquiridos, e o conjunto foi montado. As figuras 36 a 39 mostram a fixação dos componentes.

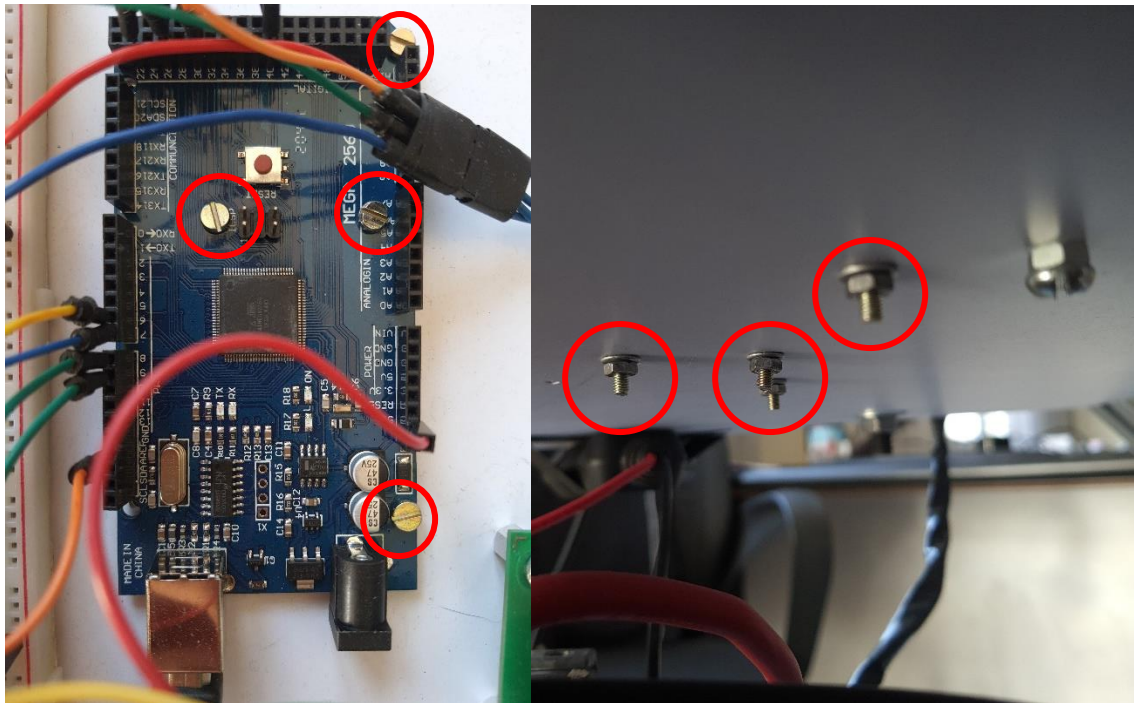


Figura 36. Fixação Arduino no mezanino

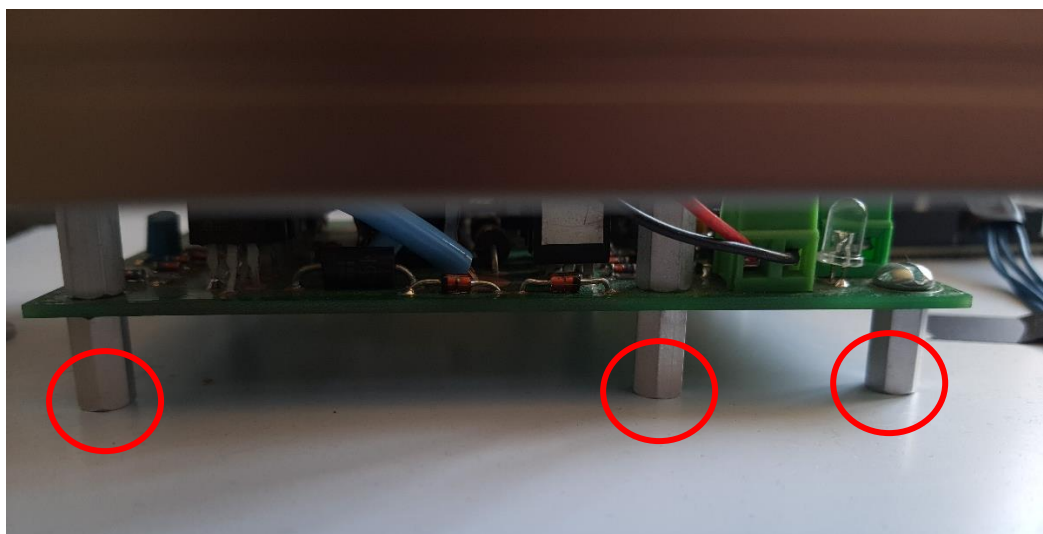


Figura 37. Fixação placa OSMC no mezanino (superfície superior).

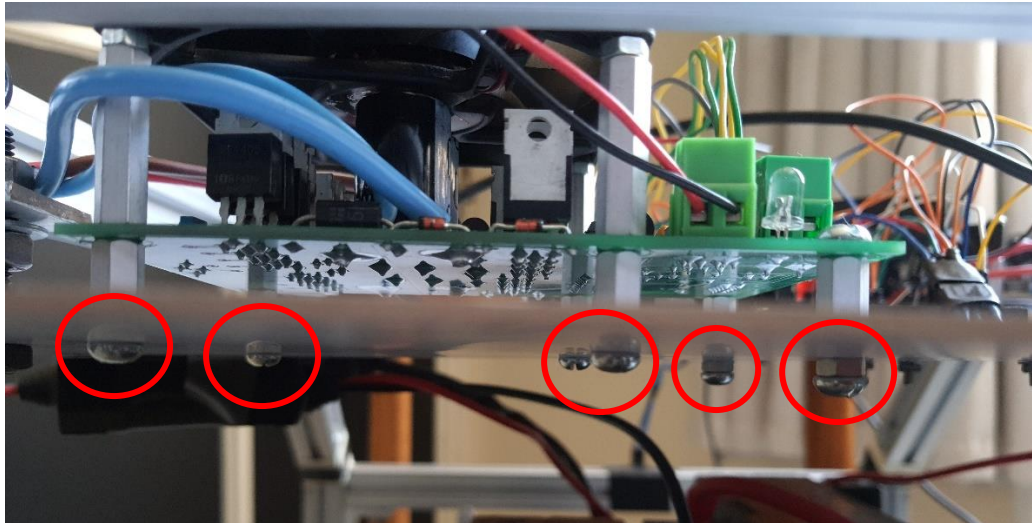


Figura 38. Fixação placa OSMC no mezanino (superfície inferior)

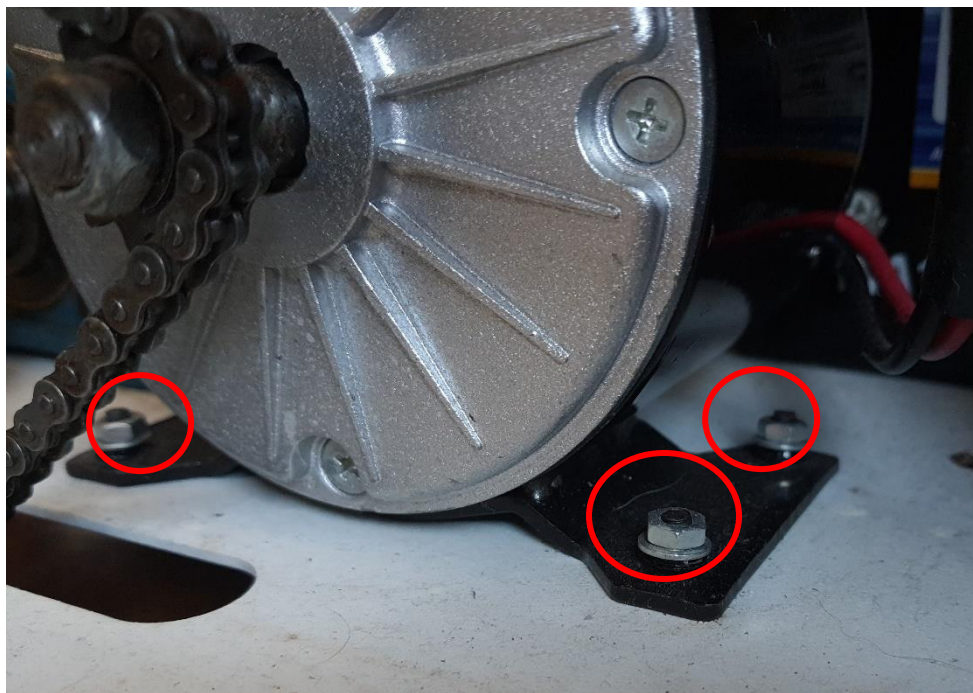


Figura 39. Fixação do motor no assoalho

As exceções no método de fixação foram a protoboard e os terminais elétricos de potência, que foram fixados com fita dupla face (figuras 40 e 41), por não se ter um bom ponto de fixação parafusada, como um furo ou uma alça.

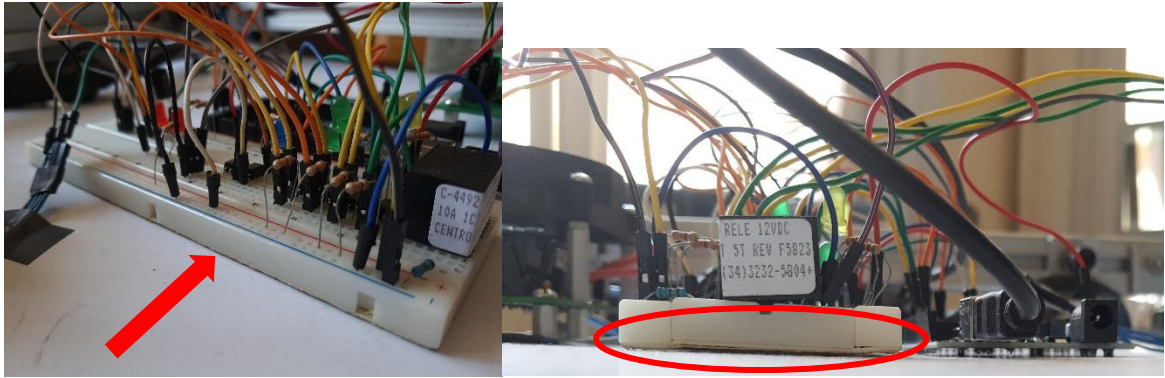


Figura 40. Região de fixação da protoboard, através de fita dupla face



Figura 41. Fixação do plug fêmea tipo N por baixo do mezanino com fita dupla face e fita isolante.

5.3.7. Escrever códigos de programação

A programação foi feita através do Arduino, e sua lógica segue as etapas abaixo:

- Ainda antes da função *void loop*, alguns valores são atribuídos a algumas constantes, que serão referenciadas durante todo o tempo de operação, até que um novo código com alterações seja carregado no Arduino. Entre elas, temos:
 - a. *distseg1* (distância segura): distância limite que pode ser medida pelo sensor ultrassônico. Caso a leitura fique abaixo do valor aqui atribuído,

são tomadas as medidas de parada e mudança de direção, para evitar colidir com o obstáculo percebido;

- b. *por1i* (porcentagem limite para iteração): é a porcentagem máxima de PWM que será usada no acionamento dos motores. Não é necessário nem seguro operar o robô com 100% de sinal, pois ele atinge velocidades muito altas com os motores em funcionamento na potência máxima. Então essa variável foi criada para limitar esse valor a um valor seguro;
 - c. *tempogir* (tempo de giro): é uma variável usada para limitar o tempo que o veículo vai permanecer executando o giro. Apesar do nome com o termo “tempo”, ela estabelece o limite iterações que a função de giro vai ter, que por sua vez, acaba influenciando no tempo de giro indiretamente. Quando o número de iterações é atingido, o código sai da função em que executa o giro do robô, e continua para a próxima etapa;
- Depois de definidos esses limites que serão usados como referência, o código entra agora na função *void loop*, onde permanecerá até o fim da execução;
 - A primeira etapa dentro do *loop* é conferir a quantidade de vezes que o robô já foi parado, e para isso existe uma variável específica com a função de acumular essa contagem;
 - Se o número de paradas registradas for menor que 4, o código prossegue para a função de movimentar para frente, onde a cada ciclo é feita a leitura de distância através dos sensores ultrassônicos, e, caso não tenha nenhum obstáculo abaixo da distância limite de segurança, a saída PWM é aplicada, começando em zero acelerando em rampa. Assim garante-se a aceleração gradual do veículo, sem que haja um movimento brusco no sistema aplicando uma potência muito alta enquanto o veículo ainda está parado, com uma inércia considerável contra o movimento;
 - Quando é atingida a potência máxima determinada, o veículo segue com velocidade constante até que identifique um obstáculo, quando então é acionada a função de parada;
 - Na função de parada, a primeira parte é fazer um decremento no valor da saída PWM, também de 1% a cada ciclo, até que chegue em zero. O objetivo é fazer o veículo reduzir gradualmente a velocidade, sem travar os motores de uma

vez, ou simplesmente cessar o sinal de controle e deixar o veículo solto seguindo com o movimento até a parada total somente pelo atrito dos pneus com o solo;

- Em seguida, é acionada a função de giro, que inverte o sinal de um dos motores, e vai aumentando o sinal aplicado nos dois motores de forma muito similar à função de movimentar para frente, com um incremento a cada ciclo, até atingir o mesmo limite de porcentagem definido para a função de movimentar para frente. A única diferença aqui é que o fim da execução dessa função é determinado pela contagem de ciclos da variável *tempogir*, conforme explicado anteriormente, e não pela leitura dos sensores, como no caso do movimento para frente;
- Quando acaba a execução dessa função, o código retorna à função de parada, e incrementa a variável de contagem de paradas de 1 unidade. Então retorna-se ao *loop*, desde o início;
- Quando a variável de contagem de paradas atinge o seu limite, é atendido o critério de encerramento, e uma mensagem no monitor serial avisa que chegamos ao fim da operação.

O código completo é encontrado no APÊNDICE – A

6. DESENVOLVIMENTO

6.1. Primeiro teste

De posse de todos os componentes, e após ter escrito o código de controle do sistema, a realização dos primeiros testes se deu ainda com os motores girando em vazio, ou seja, sem estarem fisicamente atrelados a nenhum outro componente, apenas para validar se eles atuariam conforme era desejado.

O circuito montado para esse primeiro teste tinha, além das baterias maiores alimentando as placas OSMC através de seus terminais de potência, uma terceira bateria de 12V e apenas 1,3Ah (figura 42), alimentando a placa OSMC no ponto indicado na figura 43.



Figura 42. Bateria de 12V e 1,3 Ah, utilizada no primeiro teste.



Figura 43. Placa OSMC com indicação do terminal onde foi ligada a bateria no primeiro teste.

Os circuitos foram energizados, os LEDs de sinalização que ficam nas placas OSMC acenderam normalmente. Estava tudo certo, até que o Arduino foi ligado, e o comando foi dado ao sistema.

Os motores ligaram e imediatamente após começarem a funcionar, um dos componentes da placa OSMC explodiu. Até que a energia fosse cortada, os motores ainda continuaram funcionando. Vários componentes foram danificados nesse primeiro teste. A figura 44 indica os componentes danificados.

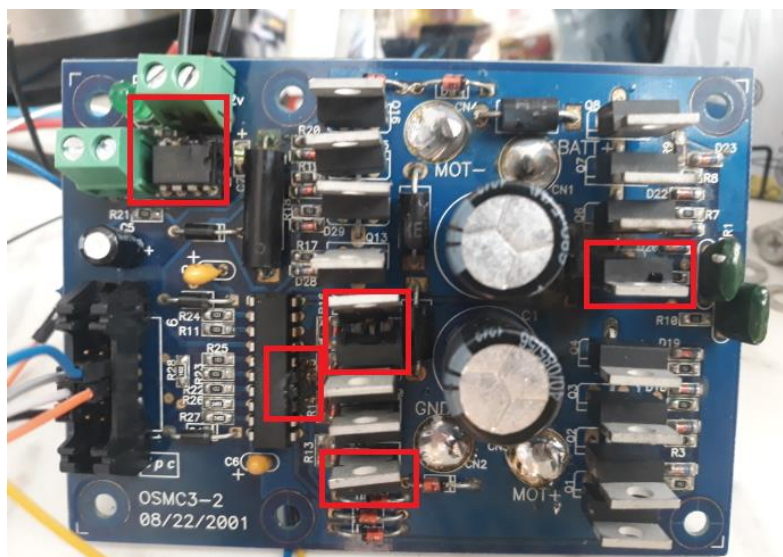


Figura 44. Placa OSMC com os componentes danificados após o primeiro teste.

Após investigação, identificou-se que o problema aconteceu devido ao regulador de tensão (componente destacado no canto superior esquerdo da figura 44) ter sido danificado. Sua função no circuito é reduzir a tensão de alimentação da placa OSMC (24V) para 12V, e estabilizá-la para servir de alimentação para os componentes eletrônicos de baixa potência, presentes na placa.

A falha aconteceu devido à presença da terceira bateria, conectada aos terminais logo acima do regulador de tensão, que estão diretamente ligados no neutro da placa e na saída do regulador de tensão. Ou seja, os terminais que deveriam funcionar apenas como saída, tiveram uma fonte conectada a eles, e isso sobrecarregou o componente, danificando-o eletricamente. Depois disso, toda a proteção da parte eletrônica foi perdida, e os demais componentes foram danificados como consequência.

Os terminais em questão foram projetados especificamente para fornecer energia ao *cooler* que deve ser montado sobre os transistores, para dissipar o calor. Existem dois pontos diferentes onde um *cooler* pode ser conectado, que são os dois conectores verdes no canto superior esquerdo das figuras 43 e 44. A diferença entre eles é que um tem saída de 12V (o que se encontra mais acima e foi conectado à bateria no primeiro teste), e o outro tem saída de 24V (o que se encontra mais à esquerda). Sendo assim, pode ser usado um *cooler* com qualquer uma das duas tensões de operação. Nesse caso em específico, foram usados *coolers* de 12V nas duas placas, por serem itens que já se encontravam disponíveis no laboratório.

6.2. Nova fabricação das placas OSMC

Devido ao dano severo acontecido nas placas OSMC com o primeiro teste, foi necessária uma nova fabricação de duas placas. Depois de o projeto ter sido estudado, viu-se que ele estava correto, então as duas novas placas que precisaram ser fabricadas tinham o projeto idêntico às anteriores. A fabricação demorou meses devido a problemas com o fabricante, que foi o único identificado e não correspondeu com o prazo estabelecido. Mesmo assim, depois desse tempo as duas novas placas estavam prontas e funcionais.

Entre cada um dos testes, e também uma vez por mês, independente de terem sido realizados testes ou não, as baterias eram recarregadas. A recomendação de recarregar uma vez por mês em caso de não uso é para conservação do poder de carga da mesma. O carregamento pode ser feito com um carregador comercial comum para baterias de chumbo-ácido. Geralmente encontra-se comercialmente esses dispositivos como carregadores de baterias de moto. Eles são bastante usados também para carregar baterias usadas em motores elétricos de pesca (baterias comuns de carro e moto). O carregador utilizado nesse trabalho foi o Tratofon CV5AH, e pode ser visto na figura 45.



Figura 45. Carregador de baterias Tratofon CV5AH

O carregador opera de duas formas diferentes. A primeira delas é com corrente alta, para cargas rápidas, mas só pode ser feita em baterias mais robustas, e tem um protocolo específico a ser seguido, principalmente com relação ao tempo de carga.

Se a bateria ficar muito tempo sendo carregada nesse modo de carga, pode até explodir devido à sobrecarga, e explosões desse tipo de bateria são muito danosas para o ambiente onde estão, conseqüentemente muito perigosas para os que estiverem perto. A segunda forma de carregamento é com carga flutuante lenta. Esse método é mais lento, demorando de quatro a oito horas em média para realizar o carregamento (depende do quão descarregada estava a bateria), mas não oferece risco de sobrecarga à bateria, portanto é mais seguro, pois evita o risco de explosão. Além disso, o carregamento lento também garante maior vida útil da bateria.

O segundo método foi o utilizado. Para realizar o carregamento, basta prender o fio positivo (vermelho) ao pólo positivo da bateria, e o fio negativo (preto) ao pólo negativo da bateria, conforme mostra a figura 46, abaixo.



Figura 46. Método de carregamento das baterias.

6.3. Segundo teste

Com as novas placas, era hora de realizar um segundo teste. Dessa vez já com a montagem correta, ou seja, sem usar uma fonte de alimentação a mais, e usando os terminais para alimentar os coolers montados nas placas.

Dessa vez uma das placas funcionou corretamente, porém a outra não. A diferença é que agora nada parecia danificado. Então foram feitas verificações de tensão com um multímetro, buscando entender onde estava o problema, e descobriu-se que o driver dos motores não estava operando corretamente, portanto seria necessário fazer uma troca.

Agora, uma nova dificuldade era o fato de que o CI do driver dos motores tinha sido soldado diretamente na placa, conforme mostra a figura 47, abaixo.

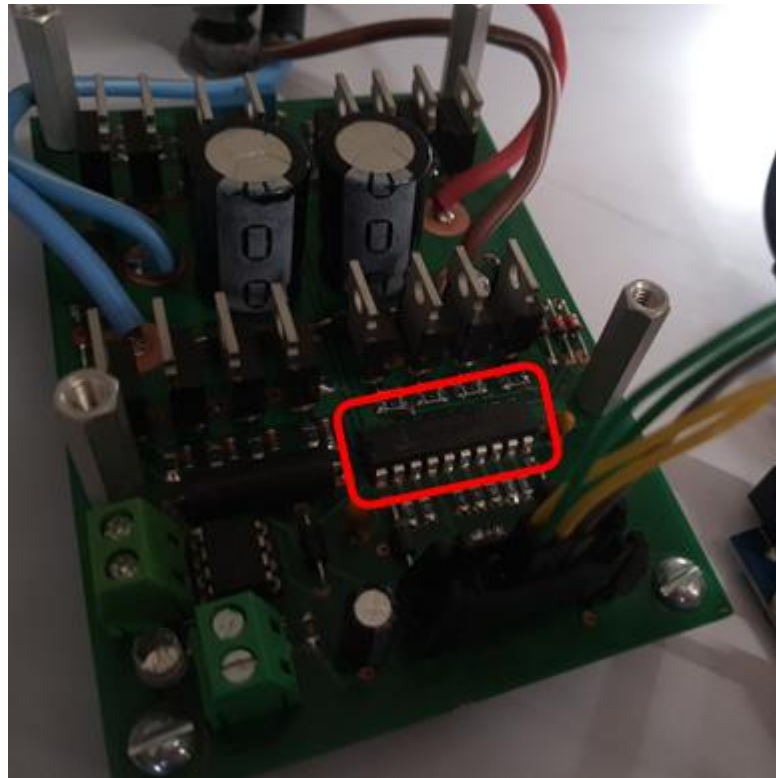


Figura 47. CI do driver do motor soldado diretamente na placa OSMC

Agora, para permitir mais flexibilidade e dinamismo caso se tornasse necessária uma nova troca no futuro, ao invés de simplesmente soldar outro CI no mesmo local, foi soldado um soquete, como a da figura 48

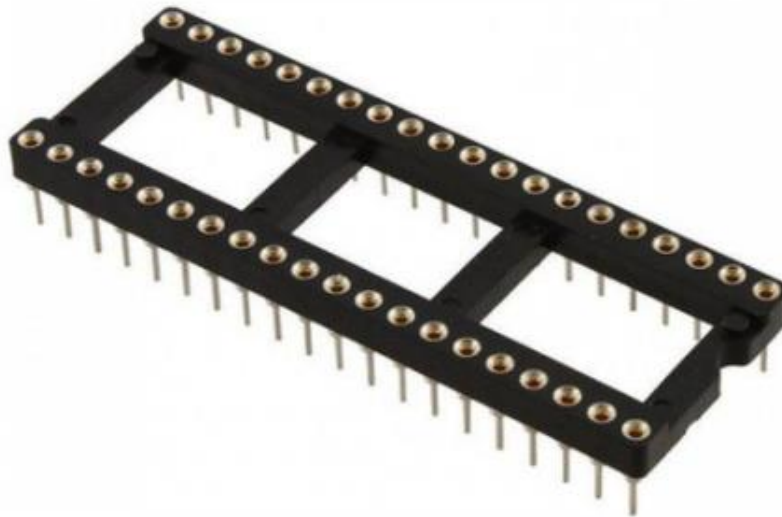


Figura 48. Base para montagem rápida de CIs

(<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1189956879-base-para-ci-dip-40-pinos-dip40-soquete-torneado-_JM>, 2021).

Assim, o CI pode ser facilmente trocado se necessário. Contudo, só foi feita a colocação de um suporte como esse na placa que estava apresentando mal funcionamento. A que funcionou corretamente não foi alterada exatamente por estar funcionando bem, e uma mudança similar foi deixada como opção para o futuro, somente caso fosse necessária, pois o CI do driver de controle não poderia ser reaproveitado se fosse retirado.

Após terminada a substituição do CI que apresentava mal funcionamento, foi realizado novamente o teste com os motores em vazio, para verificar se o funcionamento estava adequado, e verificou-se que sim, estava adequado.

Na sequência, era necessário montar o conjunto todo, inclusive as correntes, que são responsáveis pela transferência de potência do motor para o conjunto. Porém as correntes não tinham o comprimento correto, então foi necessário uni-las na dimensão correta.

Dois tipos de correntes foram usados, a diferença entre eles é o tamanho dos elos. Nas duas uniões entre os eixos dianteiros e traseiros, foram usadas correntes convencionais de bicicleta, como a que é mostrada na figura 49.



Figura 49. Corrente convencional de bicicleta
(<<https://www.xcobikes.com.br/componentes/correntes/corrente-bicicleta-gts-6-7-8-velocidades-116-elos-indexada-serve-em-shimano-sram>>, 2021).

Já no caso das uniões entre o motor e a coroa presa ao eixo, foi necessário usar uma corrente com elos menores, pois os dentes das coroas do eixo e motor são menores. Ver figura 50 com a comparação entre as duas correntes.



Figura 50. Corrente usada nos motores e corrente usada entre eixos.

Para ambas as correntes, após definido o comprimento final, no elo final optou-se por usar emendas, pois elas permitem rápida montagem e desmontagem com pouco espaço e poucas ferramentas, o que já não acontece para os demais elos. Esse ponto se torna especialmente importante pelo fato de as correntes não terem um vão livre por onde pudessem ser retiradas, com a chapa do assoalho entre a parte superior e inferior, e não há nenhum ponto de retirada da corrente sem a desmontagem da mesma. As imagens 51 e 52 mostram, respectivamente, o tipo de emenda usado nas correntes maiores (que unem os eixos dianteiro e traseiro) e menores (que unem um dos eixos ao motor de cada lado).



Figura 51. Elo de emenda de corrente, usada na corrente maior
(<https://www.bikeplus.com.br/produto/emenda-de-corrente-kmc-10-velocidades-kmc-shimano-78567>), 2021).



Figura 52. Elo de emenda corrente, usado na corrente menor
(<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/roller-sul-importacao-e-comercio-ltda-/produtos/maquinas-ferramenta/emenda-de-corrente>), 2021).

No caso dessa montagem, ao contrário das bicicletas, por exemplo, que contam com um esticador de corrente, não existe nenhum componente que fizesse essa função de esticar a corrente. Porém, o furo de fixação dos mancais na chapa, bem como os próprios furos dos mancais são oblongos, e a direção da maior dimensão coincide com a direção longitudinal do veículo, que é também a direção de montagem da corrente. Portanto, para manter as correntes esticadas ao máximo e os eixos com o melhor alinhamento possível, o dimensionamento das correntes precisou ser feito em levando em consideração a montagem do conjunto, e vice-versa.

O procedimento seguiu as seguintes etapas:

- Fixação dos motores (pois a posição deles não varia);
- Colocação dos mancais de um mesmo lado (que seriam conectados pela mesma corrente) na posição mais próxima possível um dos outro (ou seja, na extremidade interna do oblongo);
- Medição do tamanho de corrente necessária para montar nessa posição
 - Considerar o comprimento mais curto que se conseguisse montar nessa posição;
 - Medir a corrente menor, que liga o motor ao eixo;
 - Medir a corrente maior, que liga o eixo traseiro ao dianteiro, de um mesmo lado;
- Fechar as correntes na dimensão medida, usando as emendas;
- Com as correntes posicionadas nos componentes, colocar o veículo em pé (como se estivesse subindo uma parede vertical). Essa etapa é fácil de se fazer quando o veículo ainda está sem as rodas e sem o mezanino, pois as faces frontal e traseira são planas (ver figura 53), e o acesso para apertar os parafusos está livre;

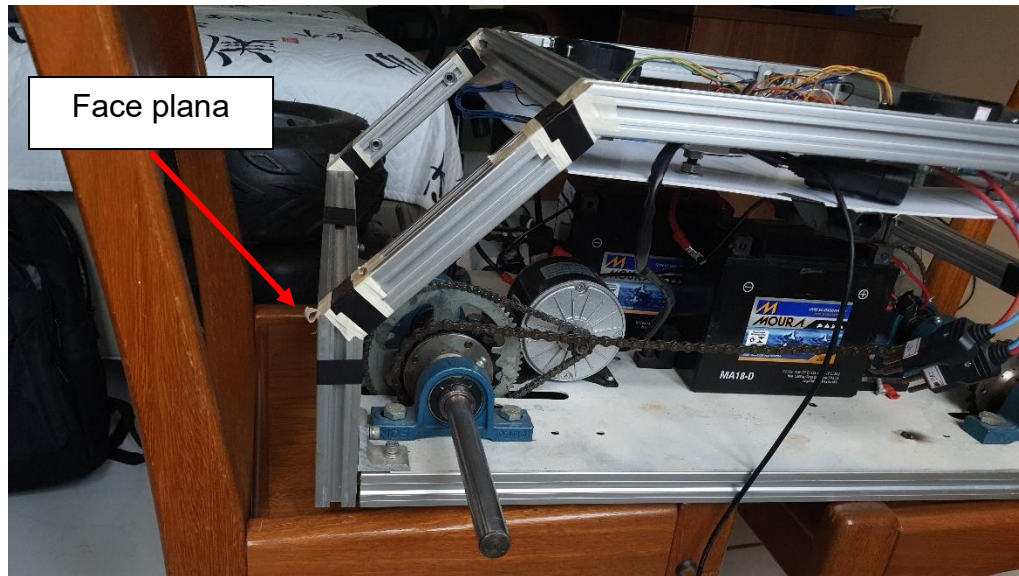


Figura 53. Face frontal/traseira plana.

- Nessa posição, os mancais que irão descer, por gravidade. Com isso, os mancais da parte inferior do veículo estarão na posição mais externa possível, então deve-se fixar aquele que possui duas correntes, pois a posição dele é mais crítica, já que duas correntes precisam se ajustar;
- Em seguida, após fixar o mancal com duas correntes, deve-se girar o veículo em 180° , fazendo com que agora ele fique apoiado sobre a face oposta à que estava antes;
- Como o mancal que antes estava na parte inferior, foi devidamente fixado no local, ele não vai mais se movimentar. Por outro lado, os outros dois que agora se encontram na região inferior estão soltos, e também na maior distância que poderiam estar. Um deles é o mancal oposto ao que foi fixado anteriormente, então já pode ser fixado na posição mais distante possível, e o outro é o segundo mancal que tem duas correntes ligadas a ele, então também deve ser fixado. Enquanto isso, o último mancal ainda está solto e se movimentando;
- Nessa posição, a corrente não faz um abaulado em função do seu próprio peso, pois os pontos de apoio estão alinhados em uma mesma reta vertical. Ou seja, ela está esticada ao máximo;
- Agora deve-se novamente girar o veículo de 180° , voltando para a posição na qual o primeiro mancal foi fixado, e fixar o último mancal faltante, garantindo um bom esticamento da corrente, e um alinhamento razoável entre os eixos.

Após a montagem das correntes, foi realizado um novo teste, dessa vez com o conjunto todo montado. Desse teste, duas novas observações foram feitas:

- Apenas o contato dos parafusos que deveriam fixar os eixos às coroas e aos cubos das rodas com a superfície do eixo não estava sendo suficiente, e apesar de o motor girar, havia muito deslizamento, fazendo com o conjunto demorasse a atingir a velocidade final, e também desgastasse o eixo na região do contato. Até então, como não haviam sido feitos os furos nos eixos, os parafusos não funcionavam ainda como chaveta, eles apenas transferiam o movimento entre as partes através do atrito da superfície de contato dos parafusos com os eixos;
- A velocidade era muito alta, e caso houvesse um travamento adequado, poderia danificar os motores, devido à sobrecarga para tirar o veículo da inércia já com uma potência aplicada muito alta.

Dessas duas observações, duas adaptações foram feitas, respectivamente:

- Furar os eixos nos pontos específicos que permitissem abrigar os parafusos, e realizar então um travamento eficiente, como uma chaveta faria em uma situação similar;
- Adaptar o código, para que o sinal de acionamento dos motores fosse aumentando gradativamente, ao invés de já iniciar no máximo. Essa mudança foi feita adicionando um laço iterativo (*while*), para que o sinal PWM começasse em zero e fosse incrementando de 1% até o valor limite definido pela constante *por1i*.

Foram feitas então as duas correções citadas, e agora o veículo apresenta o funcionamento adequado.

Na figura 54 pode-se ver a versão final do robô, com todos os componentes montados.

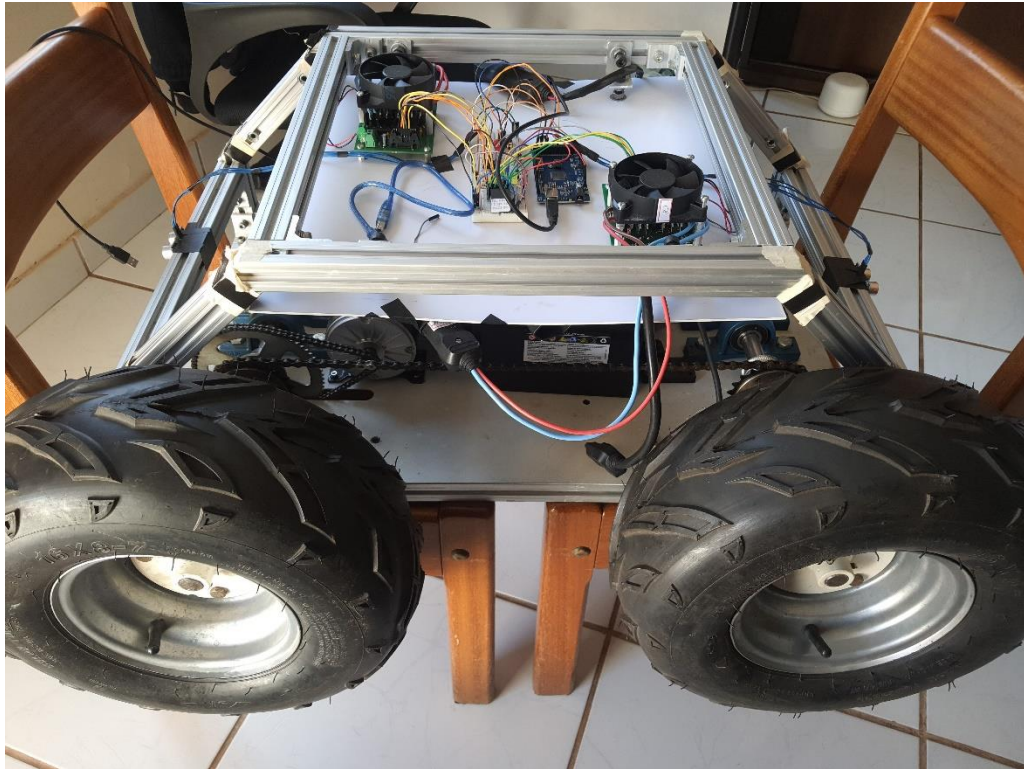


Figura 54. Versão final do robô, montado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto acabou sendo mais desafiador do que parecia inicialmente, devido alguns fatores, entre eles a dualidade de benefícios e restrições que foram herdados dos trabalhos anteriores, em alguns casos sem toda a documentação correspondente.

Se por um lado a parte estrutural estava muito bem encaminhada, faltando somente o mezanino, por outro, a parte de comando e controle (principal foco desse projeto) tinha sido iniciada, então já existiam alguns componentes disponíveis, como as placas OSMC, também existiam premissas e restrições que esse trabalho inicial trazia consigo, mas a documentação não era suficiente para montar e levar direto à ação. Dessa forma, não se tinha nem a liberdade de um projeto com escopo a ser totalmente definido, e nem um caminho a ser seguido. Logo foi necessário fazer uma espécie de engenharia reversa a partir dos componentes que se tinha em mãos, e tentar adaptar componentes complementares para as peças faltantes do projeto, de modo que tudo isso se encaixasse e atendesse requisitos de componentes chave, como os motores, que já estavam disponíveis. Como pode ser percebido nos testes realizados e os resultados obtidos nele, esse processo todo de entendimento dos recursos utilizados e como fazê-los funcionar harmonicamente acabou tendo alguns resultados parciais negativos, com componentes irreversivelmente danificados.

Nesse sentido, além das definições de componentes do sistema com algumas restrições, o maior desafio encontrado foi o entendimento correto do processo de alimentação e controle das placas OSMC. Isso porque, apesar de ser um projeto *open-source* (e muito completo) em termos de construção do circuito e fabricação de um novo componente, existe pouco material sobre aplicação prática e montagem de componentes adicionais. Juntando isso com a pouca experiência com esse tipo de componentes, alguns problemas acabaram surgindo, como a danificação das primeiras placas, e conseqüentemente a necessidade de se fazer placas novas.

Outro fator complicador foi que um único parceiro comercial foi mapeado com capacidade de elaboração desse projeto. A dependência dele foi muito prejudicial no sentido que, apesar de construir placas de circuito impresso de muita qualidade, atrasou em meses a entrega dos produtos, o que barrou a evolução do projeto quando ele estava em fase de testes, e não se tinha placas de reserva para usar enquanto as novas não ficassem prontas.

Alguns outros desafios menores foram encontrados, como a necessidade de levar as correntes para fazer ajuste no número de elos (comprimento total) diretamente na loja que vendeu os itens, por eles terem uma oficina com os equipamentos adequados para fazer a montagem e desmontagem dos elos. Mas nesse caso, bastou uma visita e o problema já tinha sido resolvido no mesmo dia.

A infiltração devido à chuva na sede do laboratório no Campus Glória também prejudicou um pouco a execução do projeto, devido ao alto volume de oxidação que gerou nos componentes. Quando esse fato aconteceu, todos os componentes estavam sendo armazenados no local, e todos os que eram em aço ficaram bastante oxidados. Assim, a remoção da ferrugem e proteção com fundo antioxidante também foi um obstáculo, pois apesar de simples do ponto de vista de execução, os processos químicos demoram alguns dias para se completarem.

A adaptação dos componentes que já tínhamos disponíveis, para serem comandados por um Arduino foi um ponto interessante do projeto, pois o Arduino é uma plataforma de simples utilização, e que está se popularizando cada vez mais. Além disso, é bastante versátil, com todos os periféricos disponíveis, como os sensores ultrassônicos usados nesse projeto.

Outro ponto foi a adaptação na forma de fazer o mezanino. Lembrando que a proposta inicial, deixada pelos trabalhos anteriores, era fazer quatro pilastras, em cima das quais ficaria a plataforma de acrílico para os componentes eletrônicos. As pilastras tinham uma geometria bem específica, pois tinham sido pensadas para serem feitas em impressão 3D, então a geometria era bem menos importante do que seria se usássemos processos tradicionais de fabricação. O grande problema é que as peças eram grandes demais para serem feitas nas impressoras que temos no laboratório, e isso inviabilizou essa opção. Mesmo assim, a opção alternativa, com uma placa de PVC sendo usada como superfície ao invés do acrílico, e a fixação através de cantoneiras simples de alumínio, presas nos trilhos da gaiola, foi bastante eficaz na tarefa de suportar os componentes eletrônicos, e ainda deixou livre o espaço na parte inferior onde ficariam as pilastras, o que facilita a manipulação dos elementos que estão na parte inferior do veículo. Além de tudo, também foi uma opção barata, pois a confecção das cantoneiras de alumínio e a compra da placa de PVC juntos não

chegaram à metade do valor que seria a compra de uma placa de acrílico nas mesmas dimensões.

De modo geral, pode-se entender a principal contribuição desse trabalho sendo a integração dos componentes físicos que já existiam antes, de modo a fazer um conjunto funcional, que se movimenta e evite colisão em obstáculos, o que é crucial para veículos não tripulados ou até autônomos. Além disso, esse trabalho constitui uma parte da criação de projetos maiores na área da robótica móvel, e abre um grande leque de opções de trabalhos subsequentes. Destaca-se principalmente aquele campo de atuação que foi a intenção inicial do projeto, atuar na lavoura cafeeira, possibilitando mapeamentos do estado dos pés de cafés diretamente pela parte inferior da planta, que no caso da cultura de café pode trazer mais informações que um drone por exemplo, que somente enxerga a parte superior da plantação.

Além disso, qualquer tipo de inspeção terrestre pode ser feito, com a adição da tecnologia equivalente, como inspeção em lugares fechados, e até mesmo orientado por antenas RFID, dispensando a necessidade de sinal de satélite.

As opções serão melhor detalhadas na próxima seção, de Projetos Futuros.

8. PROJETOS FUTUROS

Aqui serão tratadas as oportunidades de melhoria ou continuação desse projeto.

- Implementação do uso de *encoders* para ter controle de velocidade;
- Implementação de um controle PID (Proporcional, Integrativo e Derivativo) para a trajetória. Assim espera-se ser possível, não somente o controle mais refinado de aceleração e velocidade linear, como também a realização de trajetórias curvas, através do giro das rodas de lados opostos no mesmo sentido, porém em velocidades diferentes;
- Adição de um sistema de posicionamento RFID, com tomada de decisão de direcionamento baseada na diferença de captação de sinal de diferentes direções a diferentes distâncias (essa opção converge com outra área de pesquisa do MAPL);
- Alteração da estrutura para casos críticos, em ambientes hostis;
 - Melhoria no desempenho automotivo, como conseguir superar terrenos irregulares, obstáculos maiores;
 - Blindagem contra poeira e água (extremamente importante para a proposta de ser usado na lavoura, principalmente considerando que seu funcionamento é todo elétrico);
- Desenvolvimento de um sistema para controle a distância, por exemplo via satélite através de uma central;
- Desenvolvimento de um sistema de tratamento de imagem que consiga determinar o estado de saúde da plantação através das imagens coletadas no campo.
- Desenvolvimento de um sistema de visualização de resultados das coletas feitas, seja em um site ou um aplicativo, indicando tanto as informações do estado de saúde das plantas analisadas, como a localização delas. Esse sistema seria especialmente importante para mapear se existem problemas localizados em pontos específicos da plantação, como o desenvolvimento de uma praga em estágio inicial, ou a pulverização ineficiente em algum ponto da lavoura;
- Desenvolvimento de um sistema de refrigeração, também muito importante levando em consideração que atuará em área aberta, exposto ao sol;

- Melhorias no projeto da transmissão e dos mancais, permitindo melhor alinhamento dos eixos e maior tração na corrente.

Referências Bibliográficas

- ALESSANDRO MASSAYUKI NAKATANI, A. V. G. V. M. N. **Medição com sensor ultrassônico HC SR-04**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2014.
- ARDUINO.CC. Disponível em: <arduino.cc>.
- BORGES, G. A. **Introdução à robótica móvel**. Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília. Brasília. 2005.
- CEDRON, M. **PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação por Largura de Pulso)**. Instituto Federal Catarinense Campus Luzerna. [S.l.]. 2021.
- COMO funciona um sensor de estacionamento. **Veluplast Centro automotivo**. Disponível em: <<https://www.veluplast.com.br/como-funciona-um-sensor-de-estacionamento/>>. Acesso em: 19 Dezembro 2019.
- FOGAÇA, J. Bateria de chumbo dos automóveis. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bateria-chumbo-dos-automoveis.htm>>. Acesso em: 21 Maio 2021.
- HTTP://ROBOTPOWER.COM/OSMC_INFO/. Disponível em: <http://robotpower.com/osmc_info/>.
- INFRATERMELHO é a solução para controle de temperatura na indústria. **P&S**, 2017. Disponível em: <<http://www.ps.com.br/noticia/infravermelho-e-solucao-para-controle-de-temperatura-na-industria>>. Acesso em: 15 Dezembro 2019.
- INSTRUMENTS, S. –. S. & **Sensores ultrassônicos**. Sense. [S.l.]. 2014.
- LINDER, M. S. **Introdução à robótica móvel**. Universidade Federal do Vale do São Francisco. [S.l.].
- MATTEDE, H. Sensor infravermelho, o que é e como funciona. **Mundo da Elétrica**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/sensor-infravermelho-o-que-e-como-funciona/>>. Acesso em: 15 Dezembro 2019.
- PINTO FILHO, R. R. E. A. **Concepção, projeto e otimização de uma estrutura para aplicação em um veículo misto**. [S.l.]. 2004.
- PRESTES, E. **Introdução à robótica móvel**. Departamento de Informática Teórica - UFRGS. Porto Alegre.

PRINCIPAIS aplicações para os sensores ultrassônicos. **Pepperl+Fuchs**, 2014. Disponível em: <<https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/24854.htm>>. Acesso em: 17 Dezembro 2019.

RODRIGUES FILHO, R. M. **Projeto e desenvolvimento de um robô móvel para ambientes externos**. Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica. Uberlândia. 2019.

SENSOR infravermelho – Funcionamento, Características e Aplicações. **Saber elétrica**. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/sensor-infravermelho-funcionamento/>>. Acesso em: 16 Dezembro 2019.

SENSORES ultrassônicos. **Pepper+Fuchs**. Disponível em: <https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/classid_182.htm>. Acesso em: 17 Dezembro 2019.

SILVA, C. T. D. Baterias de chumbo-ácido. **Embarcados**, 2020. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>>. Acesso em: 21 Maio 2021.

SILVERIRA, C. B. Sensor ultrassônico: 10 aplicações para a indústria. **Citisystems**, 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-ultrassonico/>>. Acesso em: 16 Dezembro 2019.

THENÓRIO, I. Faça gel caseiro para retirar ferrugem. **Youtube**, 2020. Disponível em: <<https://youtu.be/f2DUJl6cCqg>>. Acesso em: 2021.

VANTAGENS e limitações das baterias seladas de chumbo-ácido. **STA Eletrônica**. Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-chumbo/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-seladas-de-chumbo-acido>>. Acesso em: 21 Maio 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Código de programação IDE Arduino

/*Autor: Vitor Costa

*Propósito: Fazer o robô avançar, com parada total dos motores em função dos sensores (segurança), e mudar de direção, girando em torno do próprio eixo

*/

//Definindo a pinagem do código

//Pinos de de comando das placas OSMC int AL1 = 6;

//Comando placa 1 para frente - PWM int BL1 = 7;

//Comando placa 1 para trás - PWM int AL2 = 8;

//Comando placa 2 para frente - PWM int BL2 = 9;

//Comando placa 2 para trás - PWM

//Pinos de parada de emergência dos motores - Disable int dis1

= 22; //Disable placa 1

//Pinos de comando e de sinal dos sensores ultrasônicos const int

trigpin1 = 26; //Trigger do sensor ultrassônico frontal const int echopin1

= 27; //Echo do sensor ultrassônico frontal /*const int trigpin2 = 30;

//Trigger do sensor ultrassônico traseiro const int echopin2 = 31; //Echo

do sensor ultrassônico traseiro*/

```
//Pinos dos leds de sinalização  const int
ledpin1 = 40; //Led frontal  const int ledpin2
= 41; //Led traseiro  const int ledpin3 = 42;
//Led direito  const int ledpin4 = 43; //Led
esquerdo
```

```
//Definição das variáveis do código
```

```
//Variáveis de comando das placas OSMC  int por1;           //Porcentagem de
PWM na placa 1, a porta em que ele for aplicado definirá o sentido de movimento do
robô
```

```
int por1i;  int por2;           //Porcentagem de PWM na placa 2, idem  int por2i;
int porgir1;           //Porcentagem de PWM na placa 1, durante o giro  int porgir2;
//Porcentagem de PWM na placa 2, durante o giro  unsigned long tempogircalc;
//Calcula o tempo de giro fazendo o tempo atual menos o tempo de início da contagem
unsigned long tempogiraux;  //Carrega o valor de tempo no início do giro  unsigned
long tempogir;  //É o valor de tempo que o veículo deve permanecer girando  int
contparada;           //Variável auxiliar para contar o número de vezes que a função
parada é usada (quando for igual 4 é sinal que uma volta completa foi feita, então deve
parar o robô)
```

```
int saidaPWM1; //Valor de 0 a 255 que será colocado na saída da placa 1, se for
para frente, será colocado em AL1, se for para trás, em BL1  int saidaPWM2; //Valor
de 0 a 255 que será colocado na saída da placa 1, se for para frente, será colocado
em AL2, se for para trás, será colocado em BL2  //Variáveis de apoio - Para definir
critérios de tomada de decisão  int i1; //Variável de apoio , usadas nos loops if (rever
```

a necessidade dela após o fluxograma do código) int i2; //Variável de apoio , usadas nos loops if (rever a necessidade dela após o fluxograma do código) int pwmmax; //Set de limite de PWM para ser enviado às placas (serve somente por segurança, principalmente nos testes iniciais)

//Variáveis de apoio a leitura dos sinais ultrassônicos long duration1; //é usada para calcular o tempo entre a emissão do sinal ultrassom pelo trigger, e sua captação no echo, no sensor dianteiro int distance1 = 10000; //Distância que será lida pelo sensor 1 - Set alto para não influenciar a primeira leitura do código

/*long duration2; //é usada para calcular o tempo entre a emissão do sinal ultrassom pelo trigger, e sua captação no echo, no sensor traseiro int distance2 = distance1; //Distância que será lida pelo sensor 1 - Set alto para não influenciar a primeira leitura do código

*/

const int distseg1 = 40; //Distância de segurança limite na frente para decidir se continua andando ou para o veículo

//const int distseg2 = distseg1; //Distância de segurança limite atrás para decidir se continua andando ou para o veículo

void setup() {

//Definindo entradas e saídas

//Sensores infravermelho

```
//pinMode(inf1, INPUT);    //pinMode(inf2,
INPUT);
```

```
//Sensores ultrassônicos  pinMode(trigpin1, OUTPUT); // Sets the
trigPin as an Output  pinMode(echopin1, INPUT); // Sets the echoPin
as an Input  /*pinMode(trigpin2, OUTPUT); // Sets the trigPin2 as an
Output  pinMode(echopin2, INPUT); // Sets the echoPin2 as in Input
*/
```

```
//Leds          pinMode(ledpin1,
OUTPUT);        pinMode(ledpin2,
OUTPUT);        pinMode(ledpin3,
OUTPUT);        pinMode(ledpin4,
OUTPUT);
```

```
//Comando PWM  pinMode(AL1, OUTPUT); // configura o pino
como saída  pinMode(BL1, OUTPUT); // configura o pino como
saída  pinMode(AL2, OUTPUT); // configura o pino como saída
pinMode(BL2, OUTPUT); // configura o pino como saída
pinMode(dis1, OUTPUT); // configura o pino como saída
//Setando a porcentagem de PWM inicial  por1 = 0;  por1i = 30;
//variável de iteração de por1 - começa em 0 e vai aumentando,
para não dar tranco no motor  por2 = por1;  por2i = por1i;
porgir1 = 10;  porgir2 = porgir1;  tempogircalc = 0;  tempogiraux
= 0;  tempogir = 50; //Esse o número de vezes que vai rodar
```

dentro da função virardireita(). Ou seja, de forma indireta, é a contagem do tempo de giro contparada = 0;

```
Serial.begin(9600);  
}
```

```
void loop() { if(contparada <  
4){ andarfrente();  
}  
}
```

```
void andarfrente() {
```

```
//Garantindo que todos os leds estarão apagados  
digitalWrite(ledpin1, LOW); digitalWrite(ledpin2, LOW);  
digitalWrite(ledpin3, LOW); digitalWrite(ledpin4, LOW);
```

```
//attachInterrupt(0, parada, RISING);
```

```
//Leitura da distância dos sensores ultrassonicos leituraultrassom();
```

```
//Loop de incremento da variável de porcentagem do motor
```

```

    if (por1 <
por1i){    por1++;
por2 = por1;
    }

    //Tomada de decisão    if
(distance1 <
distseg1){    parada();

    }

else{

    //Comando PWM

    //Para andar em linha reta (para frente ou para trás), serão usadas sempre as
    portas AL em uma placa e BL na outra, pois motores estão montados em sentidos
    contrários.

    analogWrite(AL1, 0);    //Garante que não existe sinal nas portas contrárias
    aquelas que queremos controlar, nesse caso, AL1 e BL2

    analogWrite(BL2, 0);    //idem

    saidaPWM1 = por1*255/100;    saidaPWM2 = por2*255/100;    analogWrite(BL1,
    saidaPWM1); //Sinal de 0 a 255 que será colocado na forma de PWM na porta AL1
    analogWrite(AL2, saidaPWM2);

    Serial.print("Andar frente --- ");

    Serial.print("Saida A1 = ");

    Serial.print(saidaPWM1);

    Serial.print(" ");

```

```

    Serial.print(por1);

    Serial.print("%");

    Serial.print("    Saida B1 = ");

    Serial.print(saidaPWM2);

    Serial.print("    ");

    Serial.print(por2);

    Serial.println("%");

}

}

//Função leituraultrassom - Ativa os sensores ultrassônicos e print no monitor serial a
leitura deles void leituraultrassom(){

    // Clears the trigpin    digitalWrite(trigpin1,
LOW);    delayMicroseconds(2);

    // Sets the trigPin on HIGH state for 10 micro seconds
digitalWrite(trigpin1, HIGH);    delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigpin1, LOW);

    // Reads the echoPin, returns the sound wave travel time in microseconds    duration1
= pulseIn(echopin1, HIGH);    /*A função pulseIn marca a duração de um pulso, tanto

```

faz se é HIGH ou LOW, só depende do que for escolhido. Quando o estado muda para o desejado

inicia-se a leitura. Quando o pulso cessa e o pino volta ao estado original, é encerrada a leitura. Funciona com pulsos de 10us a 3 min*/

```
// Calculating the distance  distance1 =
duration1 * 0.034/2; // Prints the distance
on the Serial Monitor

Serial.print("Distance: ");
Serial.print(distance1);

Serial.print(" // ");

//Repete o processo para o Sensor 2
/*digitalWrite(trigpin2, LOW); delayMicroseconds(2);

digitalWrite(trigpin2, HIGH);
delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigpin2,
LOW);

duration2 = pulseIn(echopin2, HIGH);

distance2 = duration2 * 0.034/2;
```

```

Serial.print("Distance 2: ");

Serial.println(distance2);

*/

}

```

//Função parada() - É acionada sempre que for necessário parar o veículo. Se for em caráter de emergência, será através de interrupções ou então devidamente posicionado ao longo do código

```

void parada(){  analogWrite(AL1, 0);          analogWrite(BL1, 0);          //Esse
conjunto de comandos é para zerar os sinais de comando dos motores

```

```

    analogWrite(AL2, 0);          analogWrite(BL2, 0);

```

```

    while(por1 > 0){      saidaPWM1 = por1*255/100;      saidaPWM2 = por2*255/100;
analogWrite(BL1, saidaPWM1); //Sinal de 0 a 255 que será colocado na forma de
PWM na porta AL1      analogWrite(AL2, saidaPWM2);

```

```

        por1--;      por2 =
por1;

```

```

Serial.print("Saida A1 = ");

Serial.print(saidaPWM1);

Serial.print("  ");

Serial.print(por1);

Serial.print("%");

Serial.print("  Saida B1 = ");

```

```

    Serial.print(saidaPWM2);

    Serial.print("  ");

    Serial.print(por2);

    Serial.println("%");
}

por1 = 0;  por2 =

por1;

    digitalWrite(dis1, LOW);    //Desativa as placas OSMC, independente do sinal que
    estiver nas portas A ou B

    if(distance1 < distseg1 /*|| distance2 <
distseg2*/){                    if(distance1 <
distseg1 ){    digitalWrite(ledpin1, HIGH);

        Serial.println("Distancia limite atingida na frente");
Serial.println(millis());    delay(2000);

        Serial.println(millis());

    }

    /*else if(distance2 < distseg2 || digitalRead(inf2) == HIGH){    digitalWrite(ledpin2,
HIGH);

        Serial.println("Distancia limite atingida atrás");
Serial.println(millis());    delay(2000);

        Serial.println(millis());

    }

```

```

    leituraultrassom();*/

}

//Essa seção é apenas para desligar todas as luzes de sinalização de obstáculo,
depois que a função parada() já saiu do loop, pois vamos voltar para o funcionamento
normal do robô    digitalWrite(ledpin1, LOW);    digitalWrite(ledpin2, LOW);
digitalWrite(ledpin3, LOW);    digitalWrite(ledpin4, LOW);    digitalWrite(dis1, HIGH);
//Se for colocado em HIGH, ativa o relê que coloca a porta DIS em contato com o
neutro, e libera a o acionamento do robô

Serial.println(millis());    delay(2000);

Serial.println(millis());

virardireita();

Serial.print("        ContParada        ");

Serial.println(contparada);    contparada++;

}

//Função para fazer o robô mudar de direção para a direita, girando em torno do seu
próprio eixo void virardireita(){

//Garantindo que todos os leds estarão apagados

    digitalWrite(ledpin1, LOW);    digitalWrite(ledpin2,
LOW);    digitalWrite(ledpin3,    LOW);
digitalWrite(ledpin4, LOW);

```

```
// detachInterrupt(0);
```

```
//Controlando o tempo de giro tempogircalc = 0;
```

```
pogir1 = 0; pogir2 =
```

```
pogir1;
```

/*Preparação das portas contrárias às que vou precisar usar para fazer o robô girar - Estou fazendo isso fora do laço do while porque só preciso zerar uma vez,

O laço é para incrementar o valor somente no sentido de rotação de cada motor para que o conjunto dos dois atue em sentidos contrários, fazendo o robô girar*/

```
analogWrite(AL1, 0);          //Garante que não existe sinal nas portas contrárias
aquelas que queremos controlar. analogWrite(AL2, 0);          //idem
```

```
while (tempogircalc < tempogir){
```

```
//Comando PWM
```

//Como para andar para frente, serão usadas somente as portas AL, tanto da placa 1 como da placa 2, as portas BL já serão zeradas antes de dar andamento ao código

```
saidaPWM1 = pogir1*255/100;          saidaPWM2 = pogir2*255/100;
analogWrite(BL1, saidaPWM1); //Sinal de 0 a 255 que será colocado na forma de
PWM na porta AL1 analogWrite(BL2, saidaPWM2);
```

```
Serial.print("Saida A1 = ");
```

```
Serial.print(saidaPWM1);
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print(porgir1);
```

```
Serial.print("%");
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("Saida A2 = ");
```

```
Serial.print(saidaPWM2);
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print(porgir2);
```

```
Serial.print("%");
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("TempoGirAux ");
```

```
Serial.print(tempogiraux);
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("TempoGirCalc ");
```

```
Serial.print(tempogircalc);
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("  ");
```

```
Serial.print("TempoGir ");
```

```
Serial.print(tempogir);
```

```
Serial.println(" ");

tempogircalc ++;

porgir1++;    porgir2 =
porgir1;
}

analogWrite(AL1, 0); //Sinal de 0 a 255 que será colocado na forma de PWM na
porta AL1 analogWrite(BL1, 0); analogWrite(AL2, 0); //Sinal de 0 a 255 que será
colocado na forma de PWM na porta AL1 analogWrite(BL2, 0); delay(3000);
}
```

APÊNDICE B – Lista de materiais comprados para confecção das placas OSMC

Part Number	Descrição	Localização	Qtd por placa	Qtd necessária total	Qtd itens já adquiridos	Qtd faltante	Qtd a comprar	Preço componente (R\$)	Preço frete (R\$)	Preço total pelo componente (R\$)	Link	Nome da loja no mercado livre	Qtd de placas a serem produzidas
P4656-ND	.1uf 100v - Poly	C2, C3	2	4	0	4	10	13	19,9	32,9	https://pr	ISACOMP COMPONENTES	2
PCF1130CT-ND	.47uf 50v – 1206 SMD	C7	1	2		2	10	39	19,9	58,9	https://pr	Don Wine	
P11276-ND	680uf 63v electrolytic – Radial lead	C1, C8	2	4		4	5	35	0	35	https://pr	FRANCISCOGAMES10	
P1.0KECT-ND or 263-1K	680 ohm resistor – 1206 SMD	R29	1	2		2	25	15,9	19,9	35,8	https://pr	CLUBEDOSCOMPONENTES	
P10.0KFCT-ND	10K ohm resistor – 1206 SMD	R11, R21-R25	6	12		12	25	15,98	19,9	35,88	https://pr	COMPONENTES_ONLINE	
P33ECT-ND	33 ohm resistor – 1206 SMD	R1, R10	2	4		4	200	30	0	30	https://pr	ISACOMP COMPONENTES	
1.5KE51CADICT-ND	51V TVS Diode	D1, D6, D7	3	6		6	10	27,4	19,9	47,3	https://pr	TSUYOCIYAMATE	
LM2574HVN-12-ND	12v regulator – 8 pin DIP	U1	1	2		2	4	24	29,46	53,46	https://w	Ponto da eletrônica	
IRF1405-ND	IRF1405 - HEXFET N-Channel, 55V 133A TO-220AB	Q1-Q16	16	32	2	30	30	455,22		455,22	https://pr	Ecatronics	
										Custo total da compra	784,46		

ANEXOS

ANEXO A – *Datasheet* HIP4081A

November 1996

Features

- Independently Drives 4 N-Channel FET in Half Bridge or Full Bridge Configurations
- Bootstrap Supply Max Voltage to $95V_{DC}$
- Drives 1000pF Load at 1MHz in Free Air at $50^{\circ}C$ with Rise and Fall Times of Typically 10ns
- User-Programmable Dead Time
- On-Chip Charge-Pump and Bootstrap Upper Bias Supplies
- DIS (Disable) Overrides Input Control
- Input Logic Thresholds Compatible with 5V to 15V Logic Levels
- Very Low Power Consumption
- Undervoltage Protection

Applications

- Medium/Large Voice Coil Motors
- Full Bridge Power Supplies
- Class D Audio Power Amplifiers
- High Performance Motor Controls
- Noise Cancellation Systems
- Battery Powered Vehicles
- Peripherals
- U.P.S.

Description

The HIP4081A is a high frequency, medium voltage Full Bridge N-Channel FET driver IC, available in 20 lead plastic SOIC and DIP packages. The HIP4081A can drive every possible switch combination except those which would cause a shoot-through condition. The HIP4081A can switch at frequencies up to 1MHz and is well suited to driving Voice Coil Motors, high-frequency Class D audio amplifiers, and power supplies.

For example, the HIP4081A can drive medium voltage brush motors, and two HIP4081As can be used to drive high performance stepper motors, since the short minimum "on-time" can provide fine micro-stepping capability.

Short propagation delays of approximately 55ns maximizes control loop crossover frequencies and dead-times which can be adjusted to near zero to minimize distortion, resulting in rapid, precise control of the driven load.

A similar part, the HIP4080A, includes an on-chip input comparator to create a PWM signal from an external triangle wave and to facilitate "hysteresis mode" switching.

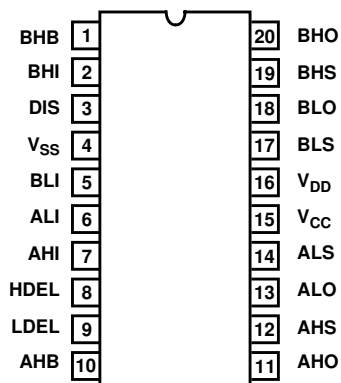
The Application Note for the HIP4081A is the AN9405.

Ordering Information

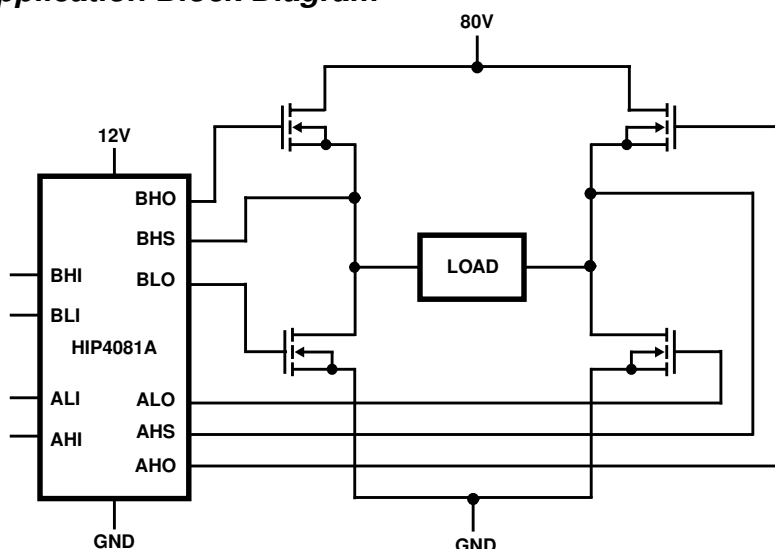
PART NUMBER	TEMP RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
HIP4081AIP	-40 to 85	20 Ld PDIP	E20.3
HIP4081AIB	-40 to 85	20 Ld SOIC (W)	M20.3

Pinout

HIP4081A (PDIP, SOIC)
TOP VIEW

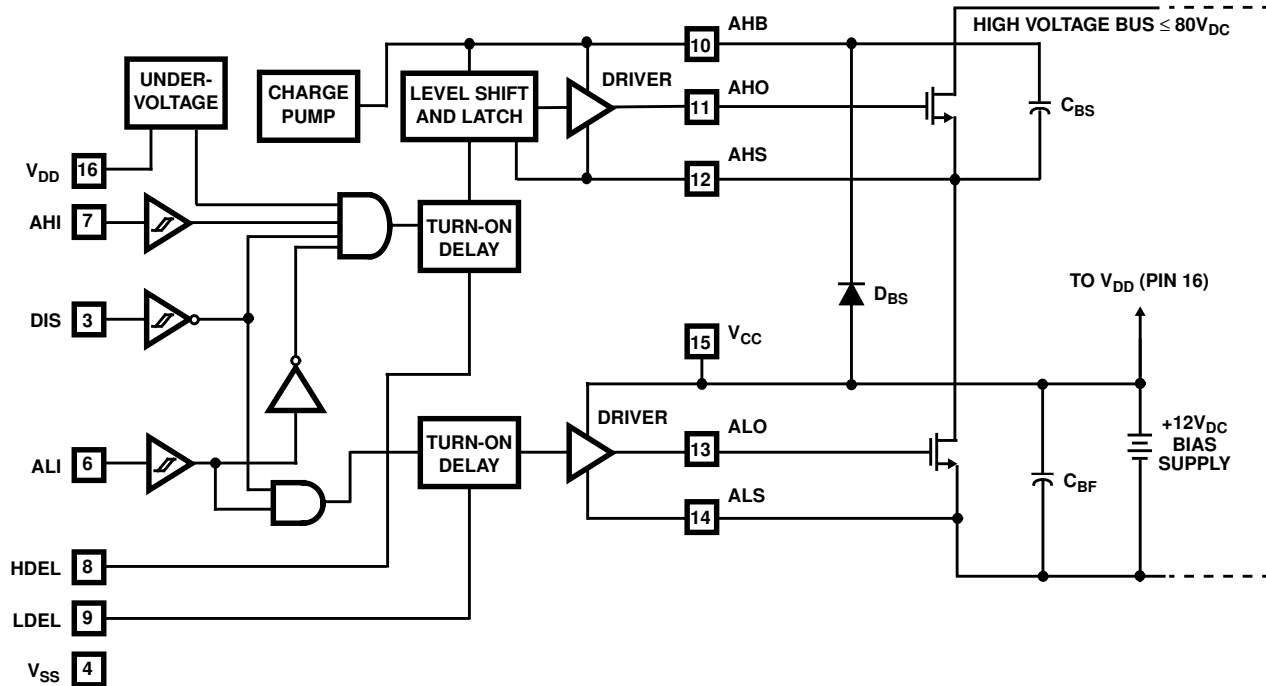


Application Block Diagram

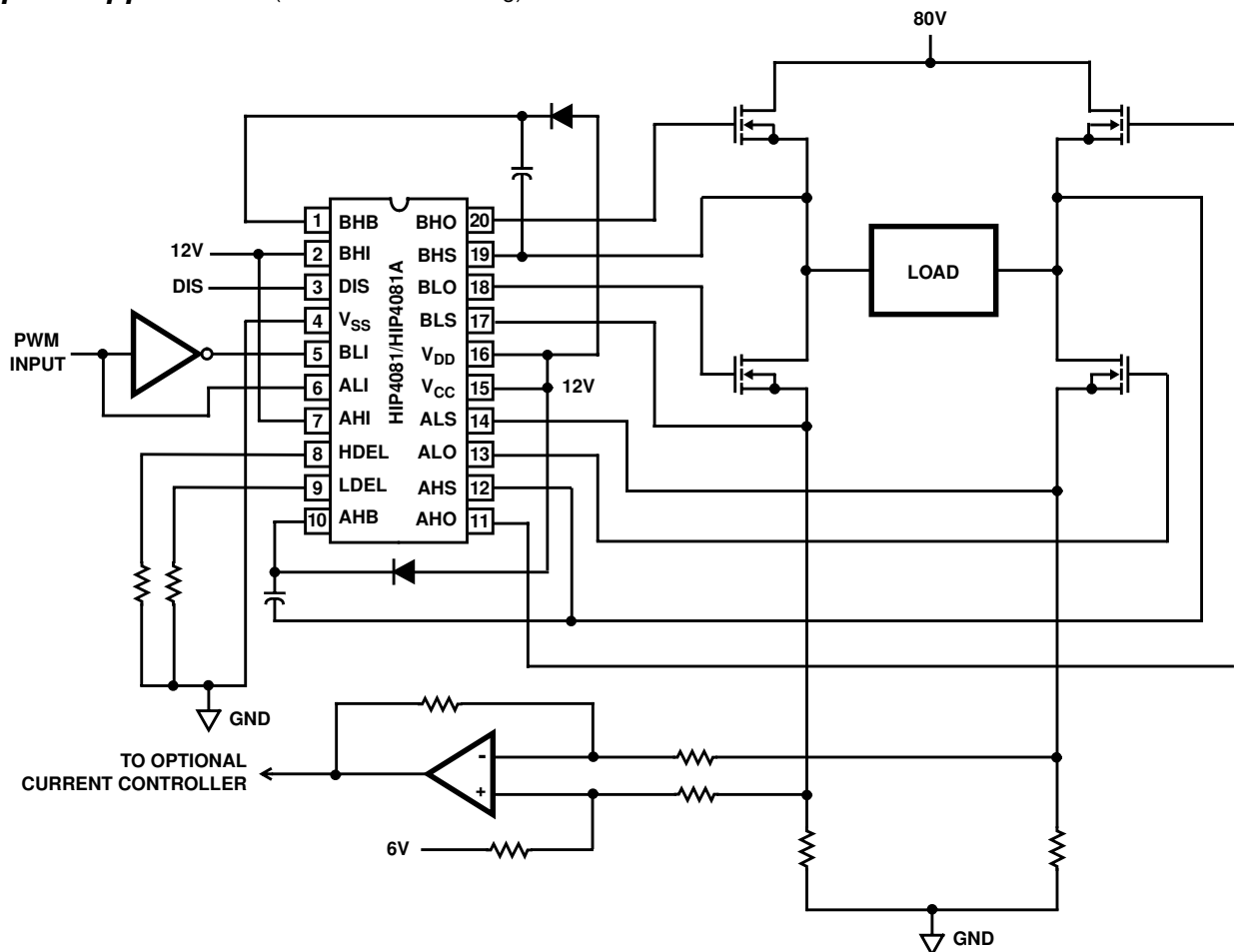


HIP4081A

Functional Block Diagram (1/2 HIP4081A)



Typical Application (PWM Mode Switching)



HIP4081A

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage, V_{DD} and V_{CC} -0.3V to 16V
 Logic I/O Voltages -0.3V to $V_{DD} + 0.3V$
 Voltage on AHS, BHS -6.0V (Transient) to 80V (25°C to 125°C)
 Voltage on AHS, BHS -6.0V (Transient) to 70V (-55°C to 125°C)
 Voltage on ALS, BLS -2.0V (Transient) to +2.0V (Transient)
 Voltage on AHB, BHB $V_{AHS, BHS} - 0.3V$ to $V_{AHS, BHS} + V_{DD}$
 Voltage on ALO, BLO $V_{ALS, BLS} - 0.3V$ to $V_{CC} + 0.3V$
 Voltage on AHO, BHO $V_{AHS, BHS} - 0.3V$ to $V_{AHB, BHB} + 0.3V$
 Input Current, HDEL and LDEL -5mA to 0mA
 Phase Slew Rate 20V/ns

NOTE: All Voltages relative to V_{SS} , unless otherwise specified.

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1) θ_{JA} (°C/W)
 SOIC Package 85
 DIP Package 75
 Storage Temperature Range -65°C to 150°C
 Operating Max. Junction Temperature 125°C
 Lead Temperature (Soldering 10s) 300°C
 (For SOIC - Lead Tips Only)

Operating Conditions

Supply Voltage, V_{DD} and V_{CC} +9.5V to +15V
 Voltage on ALS, BLS -1.0V to +1.0V
 Voltage on AHB, BHB $V_{AHS, BHS} + 5V$ to $V_{AHS, BHS} + 15V$
 Input Current, HDEL and LDEL -500μA to -50μA
 Operating Ambient Temperature Range -40°C to 85°C

Electrical Specifications $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 100K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	T _J = 25°C			T _{JS} = -40°C TO 125°C		UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
SUPPLY CURRENTS AND CHARGE PUMPS								
V _{DD} Quiescent Current	I _{DD}	All inputs = 0V	8.5	10.5	14.5	7.5	14.5	mA
V _{DD} Operating Current	I _{DDO}	Outputs switching f = 500kHz	9.5	12.5	15.5	8.5	15.5	mA
V _{CC} Quiescent Current	I _{CC}	All Inputs = 0V, I _{ALO} = I _{BLO} = 0	-	0.1	10	-	20	µA
V _{CC} Operating Current	I _{CCO}	f = 500kHz, No Load	1	1.25	2.0	0.8	3	mA
AHB, BHB Quiescent Current - Qpump Output Current	I _{AHB} , I _{BHB}	All Inputs = 0V, I _{AHO} = I _{BHO} = 0 V _{DD} = V _{CC} = V _{AHB} = V _{BHB} = 10V	-50	-30	-11	-60	-10	µA
AHB, BHB Operating Current	I _{AHBO} , I _{BHBO}	f = 500kHz, No Load	0.6	1.2	1.5	0.5	1.9	mA
AHS, BHS, AHB, BHB Leakage Current	I _{HLK}	V _{BHS} = V _{AHS} = 80V, V _{AHB} = V _{BHB} = 93V	-	0.02	1.0	-	10	µA
AHB-AHS, BHB-BHS Qpump Output Voltage	V _{AHB} -V _{AHS} V _{BHB} -V _{BHS}	I _{AHB} = I _{AHS} = 0, No Load	11.5	12.6	14.0	10.5	14.5	V
INPUT PINS: ALI, BLI, AHI, BHI, AND DIS								
Low Level Input Voltage	V _{IL}	Full Operating Conditions	-	-	1.0	-	0.8	V
High Level Input Voltage	V _{IH}	Full Operating Conditions	2.5	-	-	2.7	-	V
Input Voltage Hysteresis			-	35	-	-	-	mV
Low Level Input Current	I _{IL}	V _{IN} = 0V, Full Operating Conditions	-130	-100	-75	-135	-65	µA
High Level Input Current	I _{IH}	V _{IN} = 5V, Full Operating Conditions	-1	-	+1	-10	+10	µA
TURN-ON DELAY PINS: LDEL AND HDEL								
LDEL, HDEL Voltage	V _{HDEL} , V _{LDEL}	I _{HDEL} = I _{LDEL} = -100µA	4.9	5.1	5.3	4.8	5.4	V
GATE DRIVER OUTPUT PINS: ALO, BLO, AHO, AND BHO								
Low Level Output Voltage	V _{OL}	I _{OUT} = 100mA	0.7	0.85	1.0	0.5	1.1	V
High Level Output Voltage	V _{CC} -V _{OH}	I _{OUT} = -100mA	0.8	0.95	1.1	0.5	1.2	V
Peak Pullup Current	I _{O+}	V _{OUT} = 0V	1.7	2.6	3.8	1.4	4.1	A
Peak Pulldown Current	I _{O-}	V _{OUT} = 12V	1.7	2.4	3.3	1.3	3.6	A

HIP4081A

Electrical Specifications

$V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 100K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified **(Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	$T_J = 25^\circ C$			$T_{JS} = -40^\circ C$ TO $125^\circ C$		UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
Undervoltage, Rising Threshold	UV+		8.1	8.8	9.4	8.0	9.5	V
Undervoltage, Falling Threshold	UV-		7.6	8.3	8.9	7.5	9.0	V
Undervoltage, Hysteresis	HYS		0.25	0.4	0.65	0.2	0.7	V

Switching Specifications

$V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$, $C_L = 1000pF$.

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	$T_J = 25^\circ C$			$T_{JS} = -40^\circ C$ TO $125^\circ C$		UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
Lower Turn-off Propagation Delay (ALI-ALO, BLI-BLO)	T_{LPHL}		-	30	60	-	80	ns
Upper Turn-off Propagation Delay (AHI-AHO, BHI-BHO)	T_{HPHL}		-	35	70	-	90	ns
Lower Turn-on Propagation Delay (ALI-ALO, BLI-BLO)	T_{LPLH}	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	-	45	70	-	90	ns
Upper Turn-on Propagation Delay (AHI-AHO, BHI-BHO)	T_{HPLH}	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	-	60	90	-	110	ns
Rise Time	T_R		-	10	25	-	35	ns
Fall Time	T_F		-	10	25	-	35	ns
Turn-on Input Pulse Width	$T_{PWIN-ON}$	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	50	-	-	50	-	ns
Turn-off Input Pulse Width	$T_{PWIN-OFF}$	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	40	-	-	40	-	ns
Turn-on Output Pulse Width	$T_{PWOUT-ON}$	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	40	-	-	40	-	ns
Turn-off Output Pulse Width	$T_{PWOUT-OFF}$	$R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$	30	-	-	30	-	ns
Disable Turn-off Propagation Delay (DIS - Lower Outputs)	T_{DISLOW}		-	45	75	-	95	ns
Disable Turn-off Propagation Delay (DIS - Upper Outputs)	$T_{DISHIGH}$		-	55	85	-	105	ns
Disable to Lower Turn-on Propagation Delay (DIS - ALO and BLO)	T_{DLPLH}		-	40	70	-	90	ns
Refresh Pulse Width (ALO and BLO)	T_{REF-PW}		240	410	550	200	600	ns
Disable to Upper Enable (DIS - AHO and BHO)	T_{UEN}		-	450	620	-	690	ns

TRUTH TABLE

INPUT				OUTPUT	
ALI, BLI	AHI, BHI	U/V	DIS	ALO, BLO	AHO, BHO
X	X	X	1	0	0
1	X	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0
X	X	1	X	0	0

NOTE: X signifies that input can be either a "1" or "0".

HIP4081A

Pin Descriptions

PIN NUMBER	SYMBOL	DESCRIPTION
1	BHB	B High-side Bootstrap supply. External bootstrap diode and capacitor are required. Connect cathode of bootstrap diode and positive side of bootstrap capacitor to this pin. Internal charge pump supplies 30μA out of this pin to maintain bootstrap supply. Internal circuitry clamps the bootstrap supply to approximately 12.8V.
2	BHI	B High-side Input. Logic level input that controls BHO driver (Pin 20). BLI (Pin 5) high level input overrides BHI high level input to prevent half-bridge shoot-through, see Truth Table. DIS (Pin 3) high level input overrides BHI high level input. The pin can be driven by signal levels of 0V to 15V (no greater than V_{DD}). An internal 100μA pull-up to V_{DD} will hold BHI high, so no connection is required if high-side and low-side outputs are to be controlled by the low-side input.
3	DIS	DISable input. Logic level input that when taken high sets all four outputs low. DIS high overrides all other inputs. When DIS is taken low the outputs are controlled by the other inputs. The pin can be driven by signal levels of 0V to 15V (no greater than V_{DD}). An internal 100μA pull-up to V_{DD} will hold DIS high if this pin is not driven.
4	V_{SS}	Chip negative supply, generally will be ground.
5	BLI	B Low-side Input. Logic level input that controls BLO driver (Pin 18). If BHI (Pin 2) is driven high or not connected externally then BLI controls both BLO and BHO drivers, with dead time set by delay currents at HDEL and LDEL (Pin 8 and 9). DIS (Pin 3) high level input overrides BLI high level input. The pin can be driven by signal levels of 0V to 15V (no greater than V_{DD}). An internal 100μA pull-up to V_{DD} will hold BLI high if this pin is not driven.
6	ALI	A Low-side Input. Logic level input that controls ALO driver (Pin 13). If AHI (Pin 7) is driven high or not connected externally then ALI controls both ALO and AHO drivers, with dead time set by delay currents at HDEL and LDEL (Pin 8 and 9). DIS (Pin 3) high level input overrides ALI high level input. The pin can be driven by signal levels of 0V to 15V (no greater than V_{DD}). An internal 100μA pull-up to V_{DD} will hold ALI high if this pin is not driven.
7	AHI	A High-side Input. Logic level input that controls AHO driver (Pin 11). ALI (Pin 6) high level input overrides AHI high level input to prevent half-bridge shoot-through, see Truth Table. DIS (Pin 3) high level input overrides AHI high level input. The pin can be driven by signal levels of 0V to 15V (no greater than V_{DD}). An internal 100μA pull-up to V_{DD} will hold AHI high, so no connection is required if high-side and low-side outputs are to be controlled by the low-side input.
8	HDEL	High-side turn-on DELay. Connect resistor from this pin to V_{SS} to set timing current that defines the turn-on delay of both high-side drivers. The low-side drivers turn-off with no adjustable delay, so the HDEL resistor guarantees no shoot-through by delaying the turn-on of the high-side drivers. HDEL reference voltage is approximately 5.1V.
9	LDEL	Low-side turn-on DELay. Connect resistor from this pin to V_{SS} to set timing current that defines the turn-on delay of both low-side drivers. The high-side drivers turn-off with no adjustable delay, so the LDEL resistor guarantees no shoot-through by delaying the turn-on of the low-side drivers. LDEL reference voltage is approximately 5.1V.
10	AHB	A High-side Bootstrap supply. External bootstrap diode and capacitor are required. Connect cathode of bootstrap diode and positive side of bootstrap capacitor to this pin. Internal charge pump supplies 30μA out of this pin to maintain bootstrap supply. Internal circuitry clamps the bootstrap supply to approximately 12.8V.
11	AHO	A High-side Output. Connect to gate of A High-side power MOSFET.
12	AHS	A High-side Source connection. Connect to source of A High-side power MOSFET. Connect negative side of bootstrap capacitor to this pin.
13	ALO	A Low-side Output. Connect to gate of A Low-side power MOSFET.
14	ALS	A Low-side Source connection. Connect to source of A Low-side power MOSFET.
15	V_{CC}	Positive supply to gate drivers. Must be same potential as V_{DD} (Pin 16). Connect to anodes of two bootstrap diodes.
16	V_{DD}	Positive supply to lower gate drivers. Must be same potential as V_{CC} (Pin 15). De-couple this pin to V_{SS} (Pin 4).
17	BLS	B Low-side Source connection. Connect to source of B Low-side power MOSFET.
18	BLO	B Low-side Output. Connect to gate of B Low-side power MOSFET.
19	BHS	B High-side Source connection. Connect to source of B High-side power MOSFET. Connect negative side of bootstrap capacitor to this pin.
20	BHO	B High-side Output. Connect to gate of B High-side power MOSFET.

Timing Diagrams

X = A OR B, A AND B HALVES OF BRIDGE CONTROLLER ARE INDEPENDENT

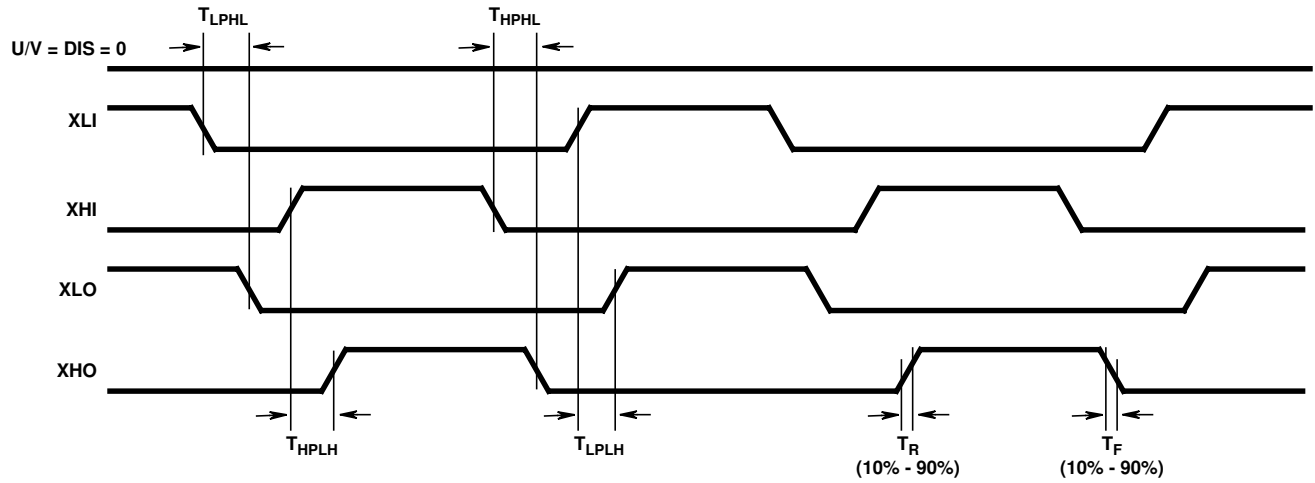


FIGURE 1. INDEPENDENT MODE

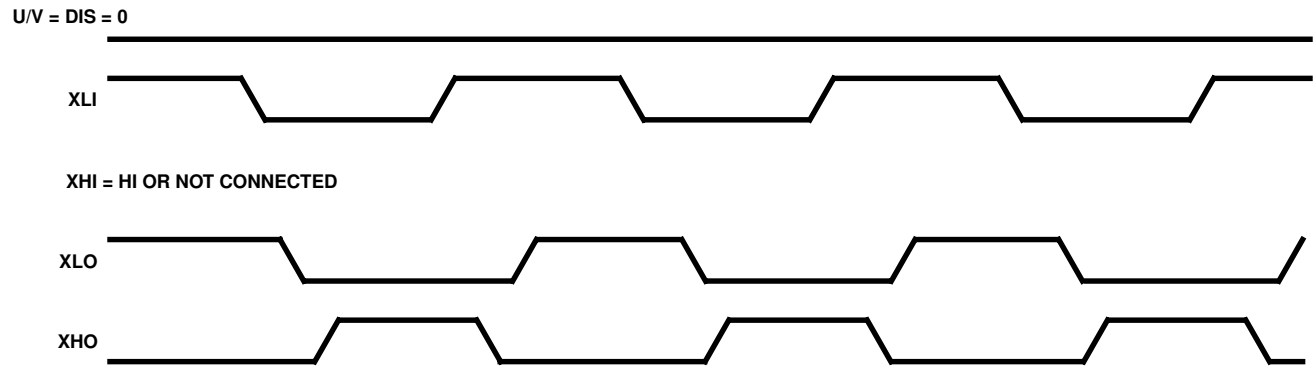


FIGURE 2. BISTATE MODE

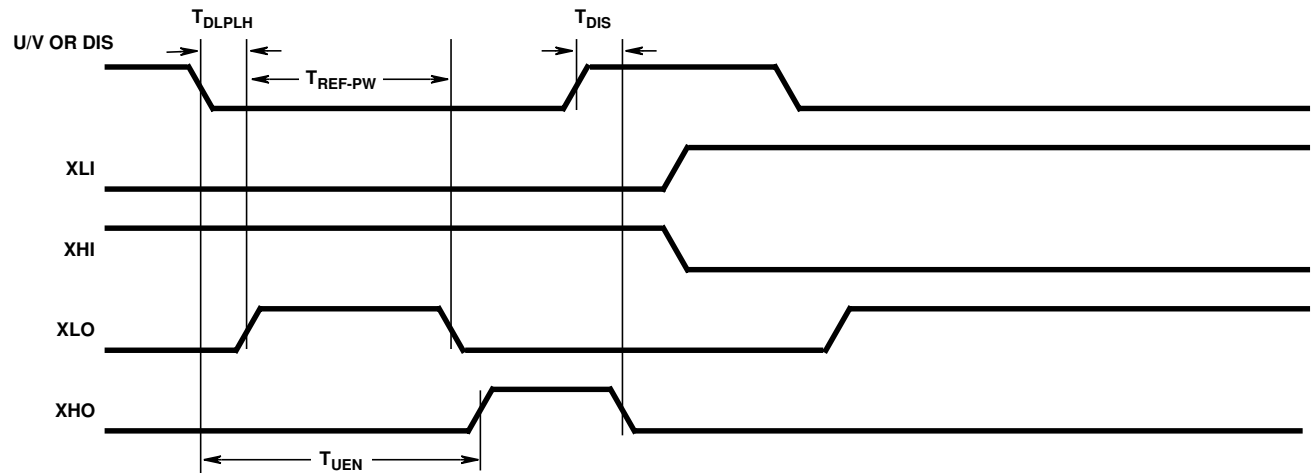


FIGURE 3. DISABLE FUNCTION

Typical Performance Curves $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 100K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

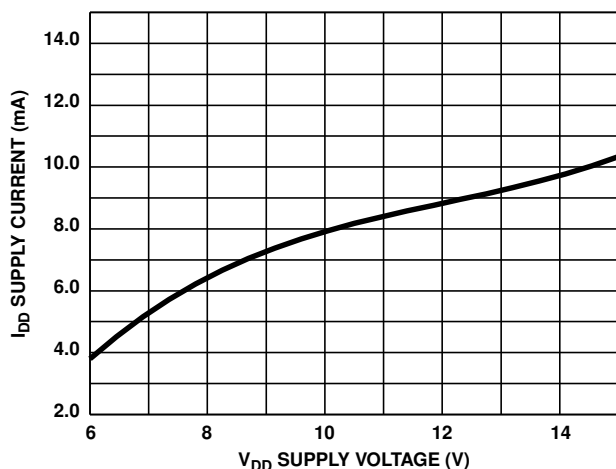


FIGURE 4. QUIESCENT I_{DD} SUPPLY CURRENT vs V_{DD} SUPPLY VOLTAGE

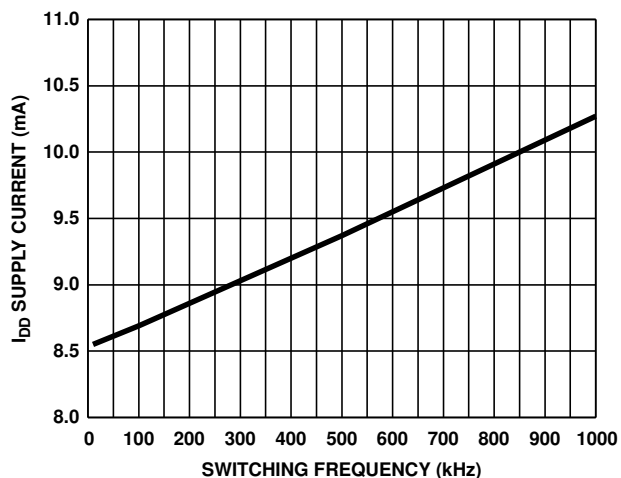


FIGURE 5. I_{DD0} , NO-LOAD I_{DD} SUPPLY CURRENT vs FREQUENCY (kHz)

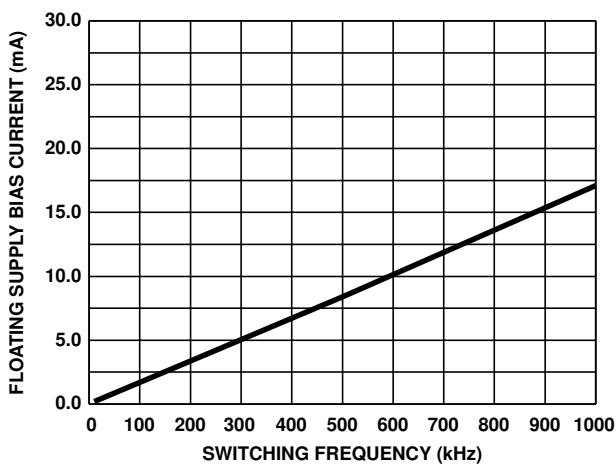


FIGURE 6. SIDE A, B FLOATING SUPPLY BIAS CURRENT vs FREQUENCY (LOAD = 1000pF)

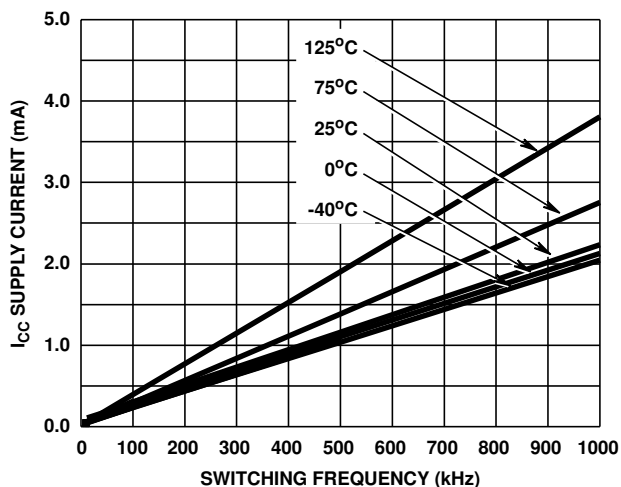


FIGURE 7. I_{CC0} , NO-LOAD I_{CC} SUPPLY CURRENT vs FREQUENCY (kHz) TEMPERATURE

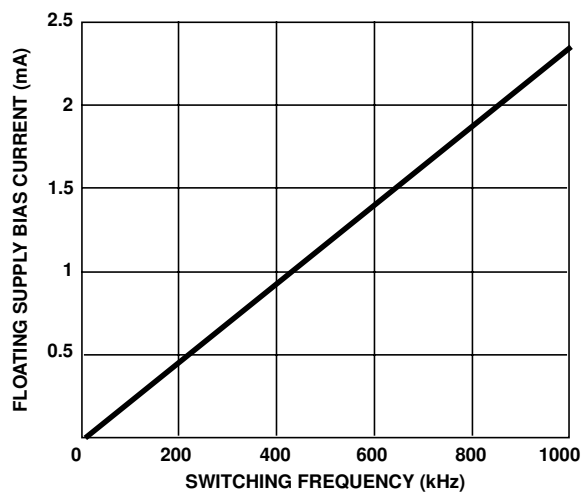


FIGURE 8. I_{AHB} , I_{BHB} , NO-LOAD FLOATING SUPPLY BIAS CURRENT vs FREQUENCY

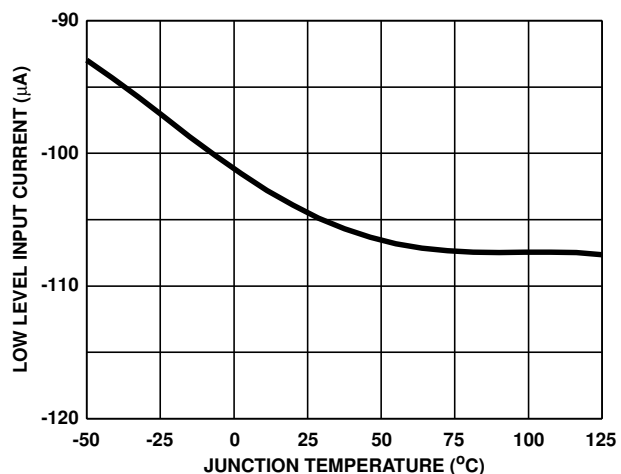


FIGURE 9. ALI, BLI, AHI, BHI LOW LEVEL INPUT CURRENT I_{IL} vs TEMPERATURE

Typical Performance Curves $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

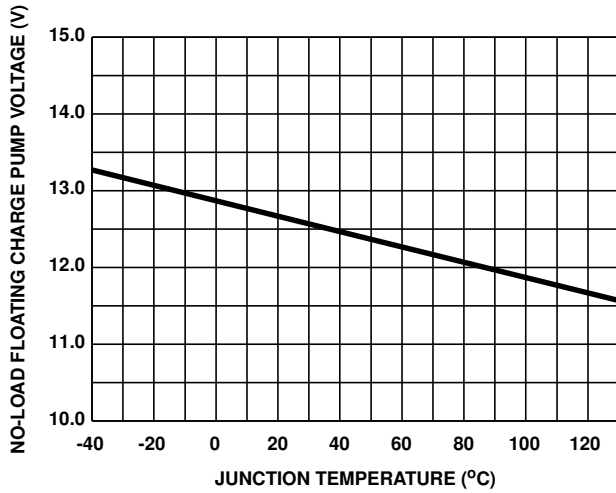


FIGURE 10. AHB - AHS, BHB - BHS NO-LOAD CHARGE PUMP VOLTAGE vs TEMPERATURE

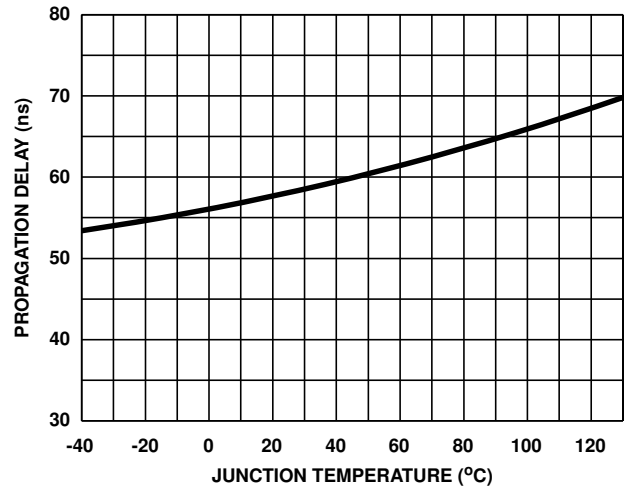


FIGURE 11. UPPER DISABLE TURN-OFF PROPAGATION DELAY $T_{DISHIGH}$ vs TEMPERATURE

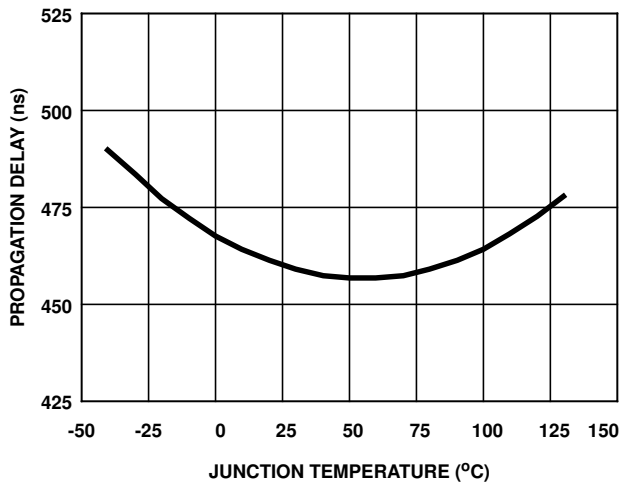


FIGURE 12. DISABLE TO UPPER ENABLE, T_{UEN} , PROPAGATION DELAY vs TEMPERATURE

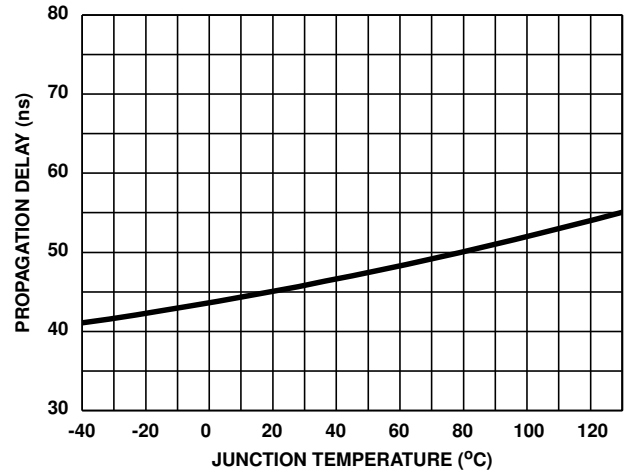


FIGURE 13. LOWER DISABLE TURN-OFF PROPAGATION DELAY T_{DISLOW} vs TEMPERATURE

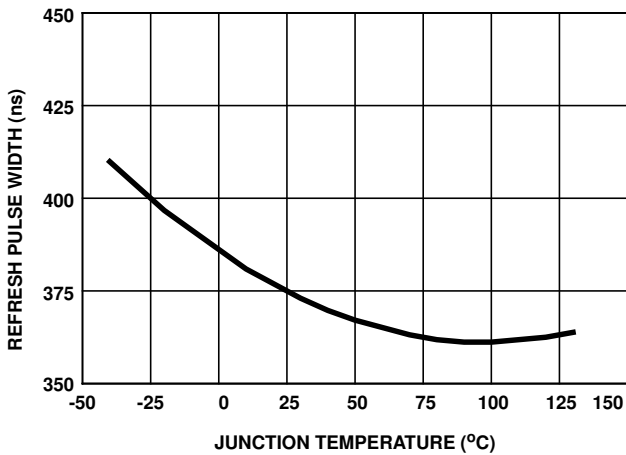


FIGURE 14. T_{REF-PW} REFRESH PULSE WIDTH vs TEMPERATURE

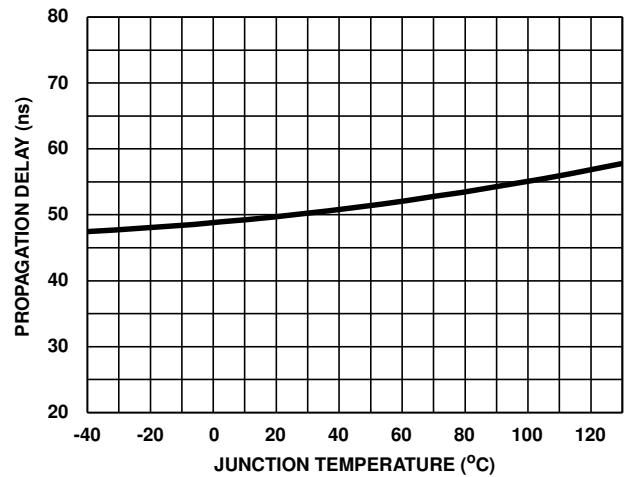


FIGURE 15. DISABLE TO LOWER ENABLE T_{DLPLH} PROPAGATION DELAY vs TEMPERATURE

Typical Performance Curves $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 10K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified **(Continued)**

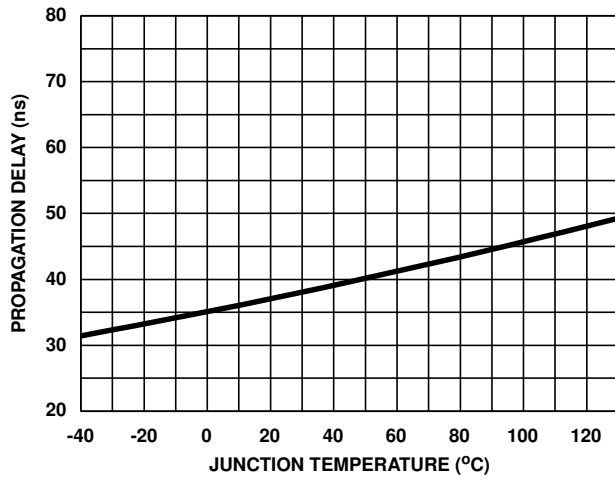


FIGURE 16. UPPER TURN-OFF PROPAGATION DELAY T_{HPHL} vs TEMPERATURE

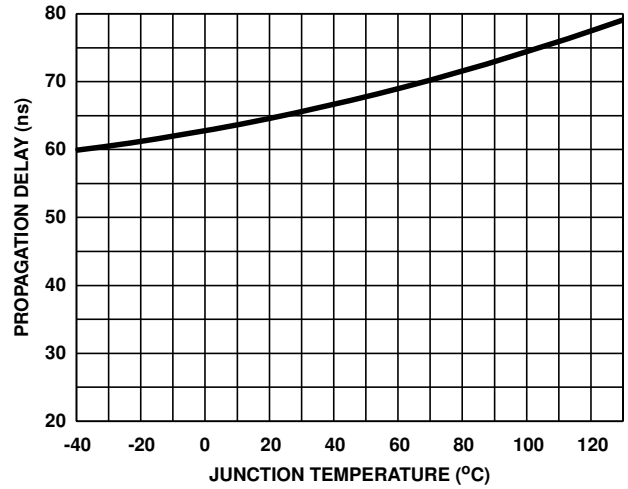


FIGURE 17. UPPER TURN-ON PROPAGATION DELAY T_{HPLH} vs TEMPERATURE

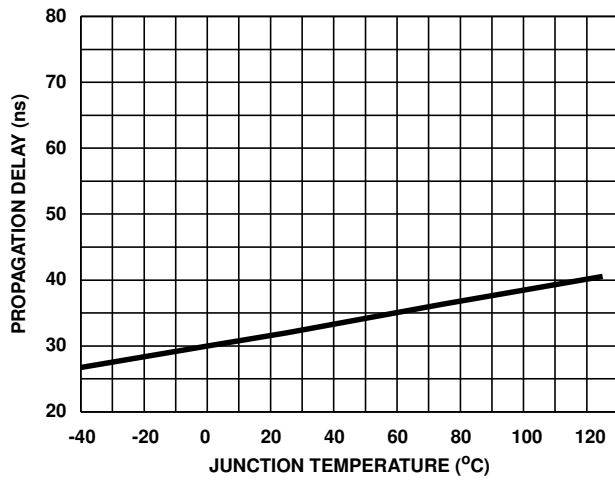


FIGURE 18. LOWER TURN-OFF PROPAGATION DELAY T_{LPHL} vs TEMPERATURE

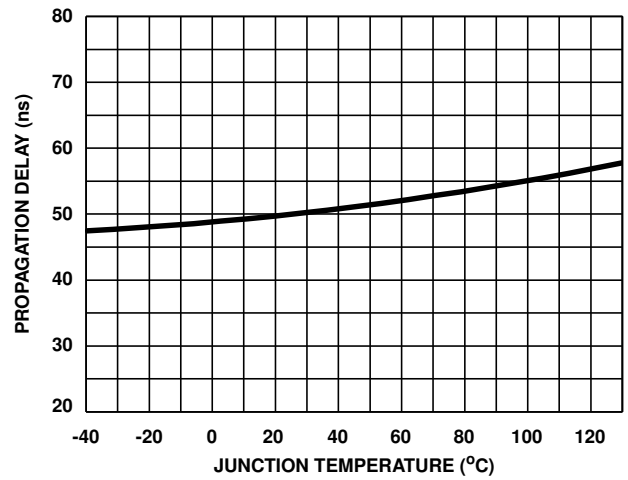


FIGURE 19. LOWER TURN-ON PROPAGATION DELAY T_{LPLH} vs TEMPERATURE

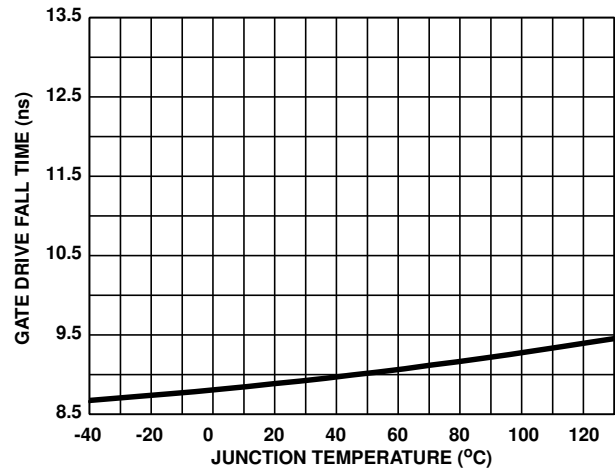


FIGURE 20. GATE DRIVE FALL TIME T_F vs TEMPERATURE

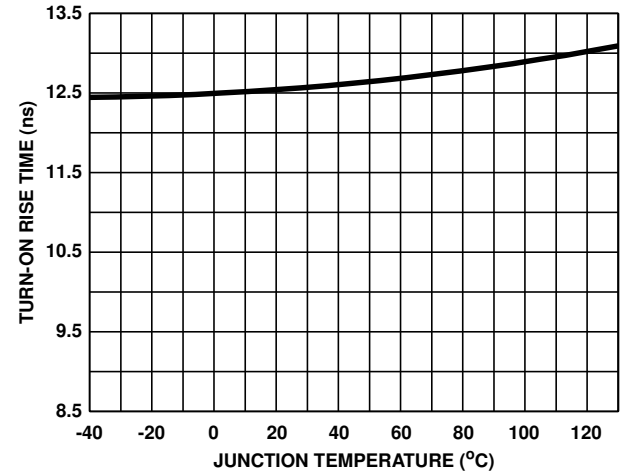


FIGURE 21. GATE DRIVE RISE TIME T_R vs TEMPERATURE

HIP4081A

Typical Performance Curves $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 100K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

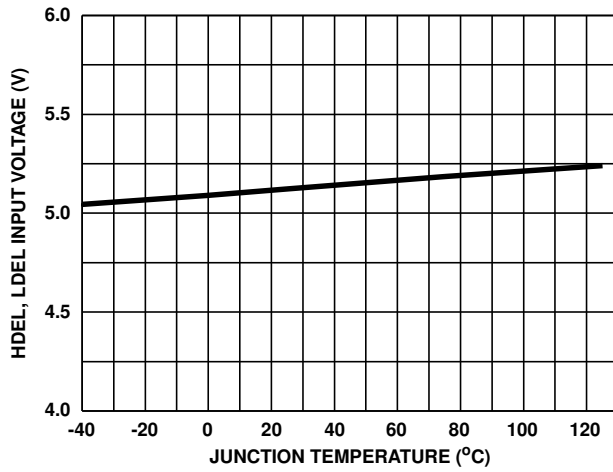


FIGURE 22. V_{LDEL} , V_{HDEL} VOLTAGE vs TEMPERATURE

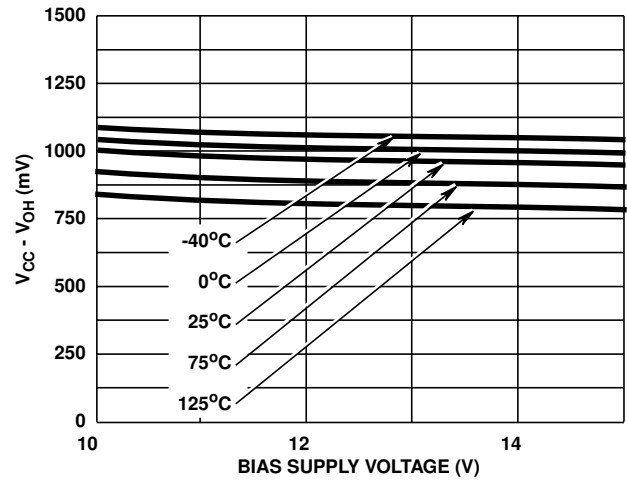


FIGURE 23. HIGH LEVEL OUTPUT VOLTAGE $V_{CC} - V_{OH}$ vs BIAS SUPPLY AND TEMPERATURE AT 100mA

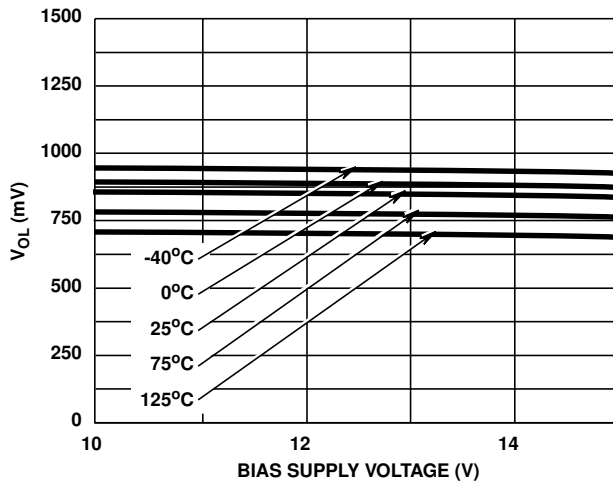


FIGURE 24. LOW LEVEL OUTPUT VOLTAGE V_{OL} vs BIAS SUPPLY AND TEMPERATURE AT 100mA

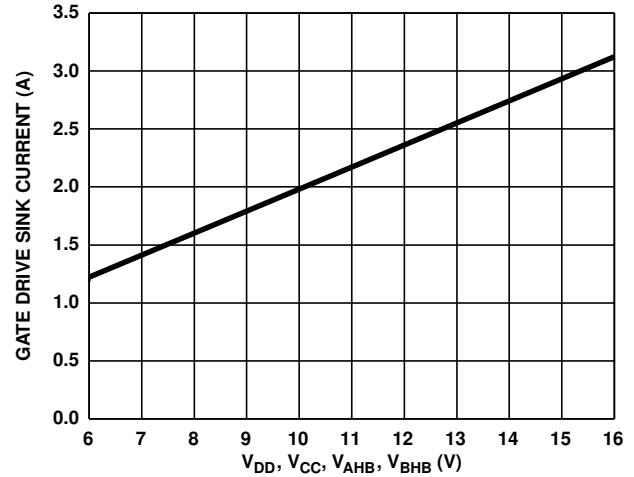


FIGURE 25. PEAK PULLDOWN CURRENT I_O vs BIAS SUPPLY VOLTAGE

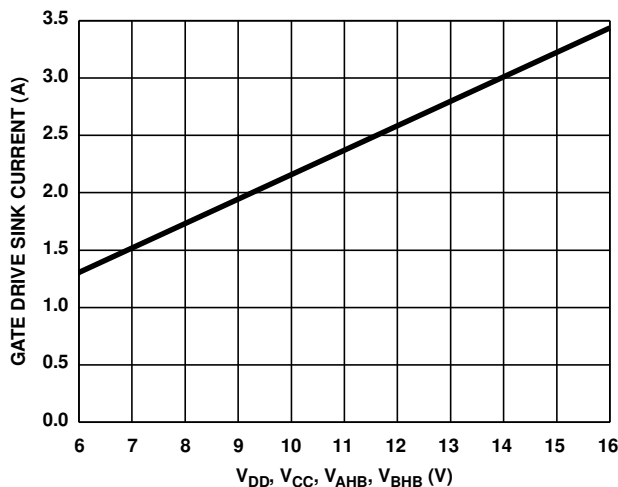


FIGURE 26. PEAK PULLUP CURRENT I_{O+} vs BIAS SUPPLY VOLTAGE

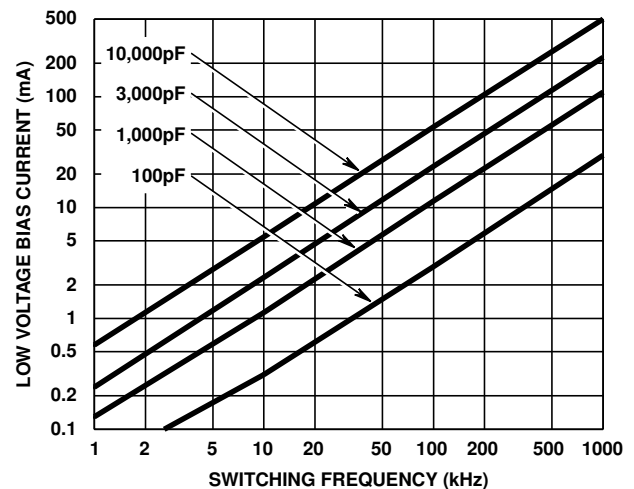


FIGURE 27. LOW VOLTAGE BIAS CURRENT I_{DD} (LESS QUIESCENT COMPONENT) vs FREQUENCY AND GATE LOAD CAPACITANCE

Typical Performance Curves $V_{DD} = V_{CC} = V_{AHB} = V_{BHB} = 12V$, $V_{SS} = V_{ALS} = V_{BLS} = V_{AHS} = V_{BHS} = 0V$, $R_{HDEL} = R_{LDEL} = 100K$ and $T_A = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified **(Continued)**

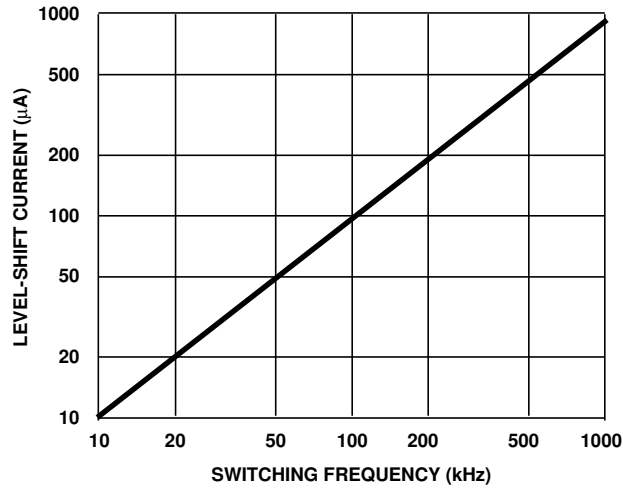


FIGURE 28. HIGH VOLTAGE LEVEL-SHIFT CURRENT vs FREQUENCY AND BUS VOLTAGE

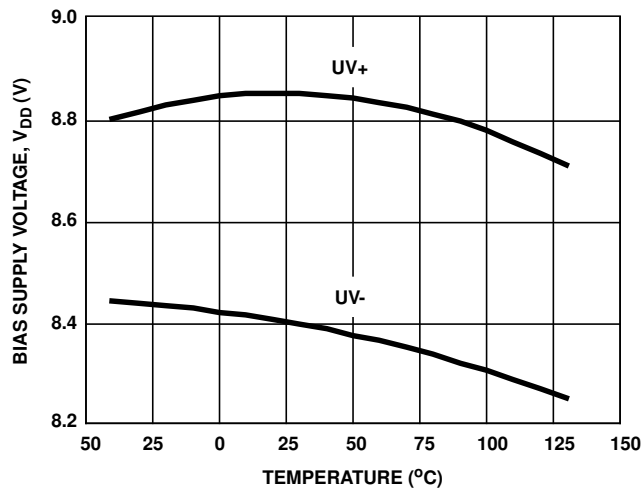


FIGURE 29. UNDERVOLTAGE LOCKOUT vs TEMPERATURE

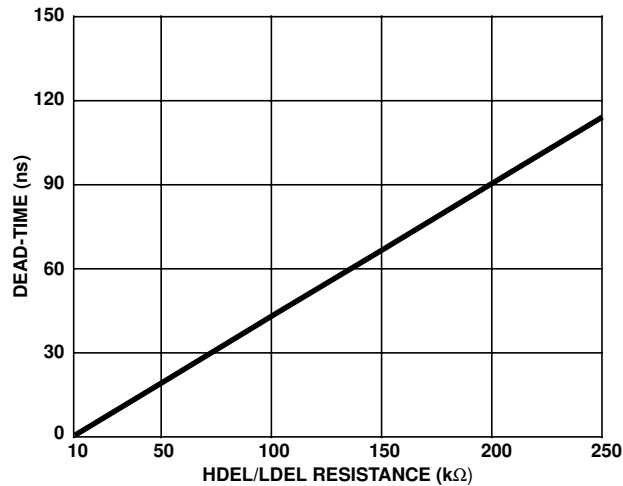


FIGURE 30. MINIMUM DEAD-TIME vs DEL RESISTANCE

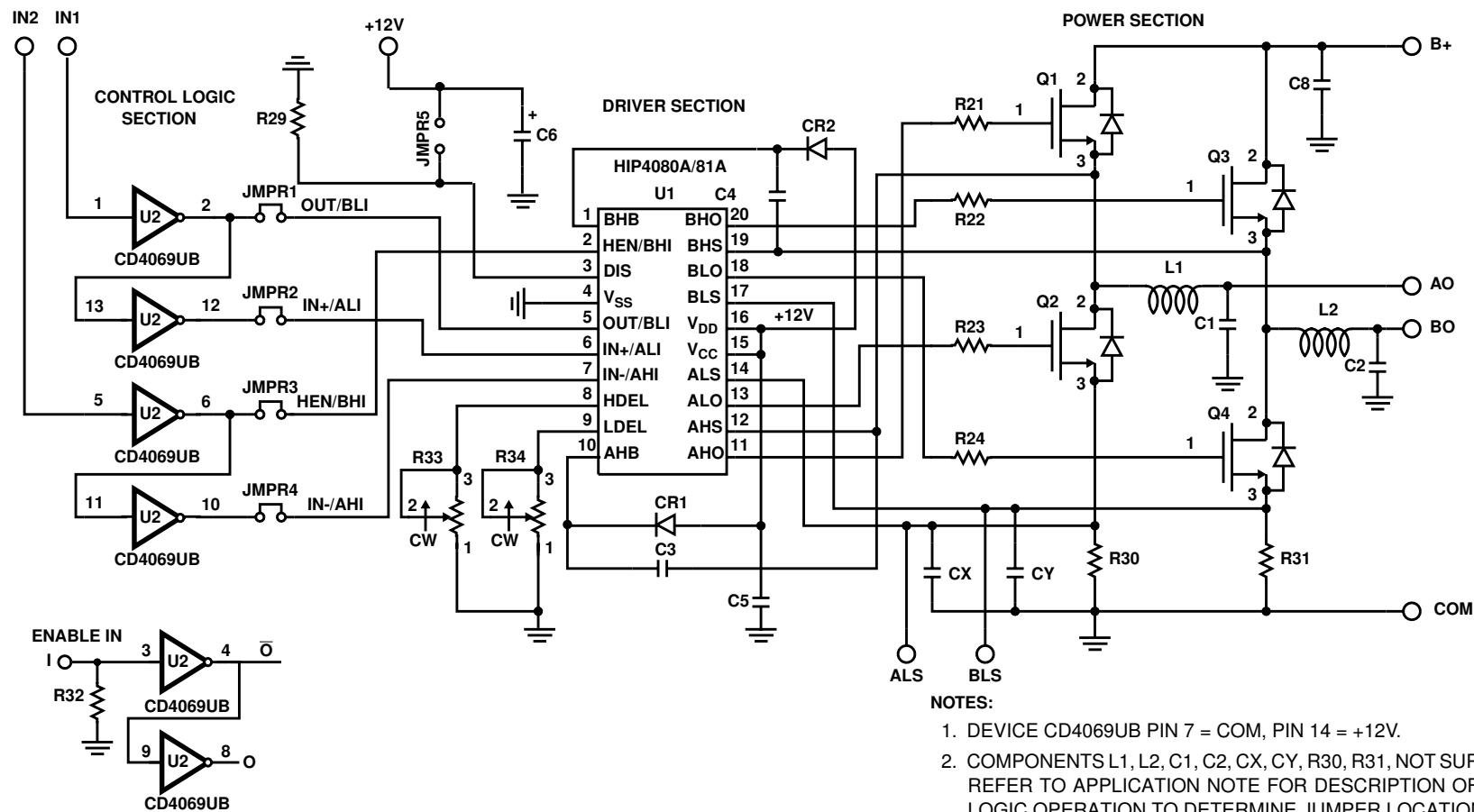


FIGURE 31. HIP4081A EVALUATION PC BOARD SCHEMATIC

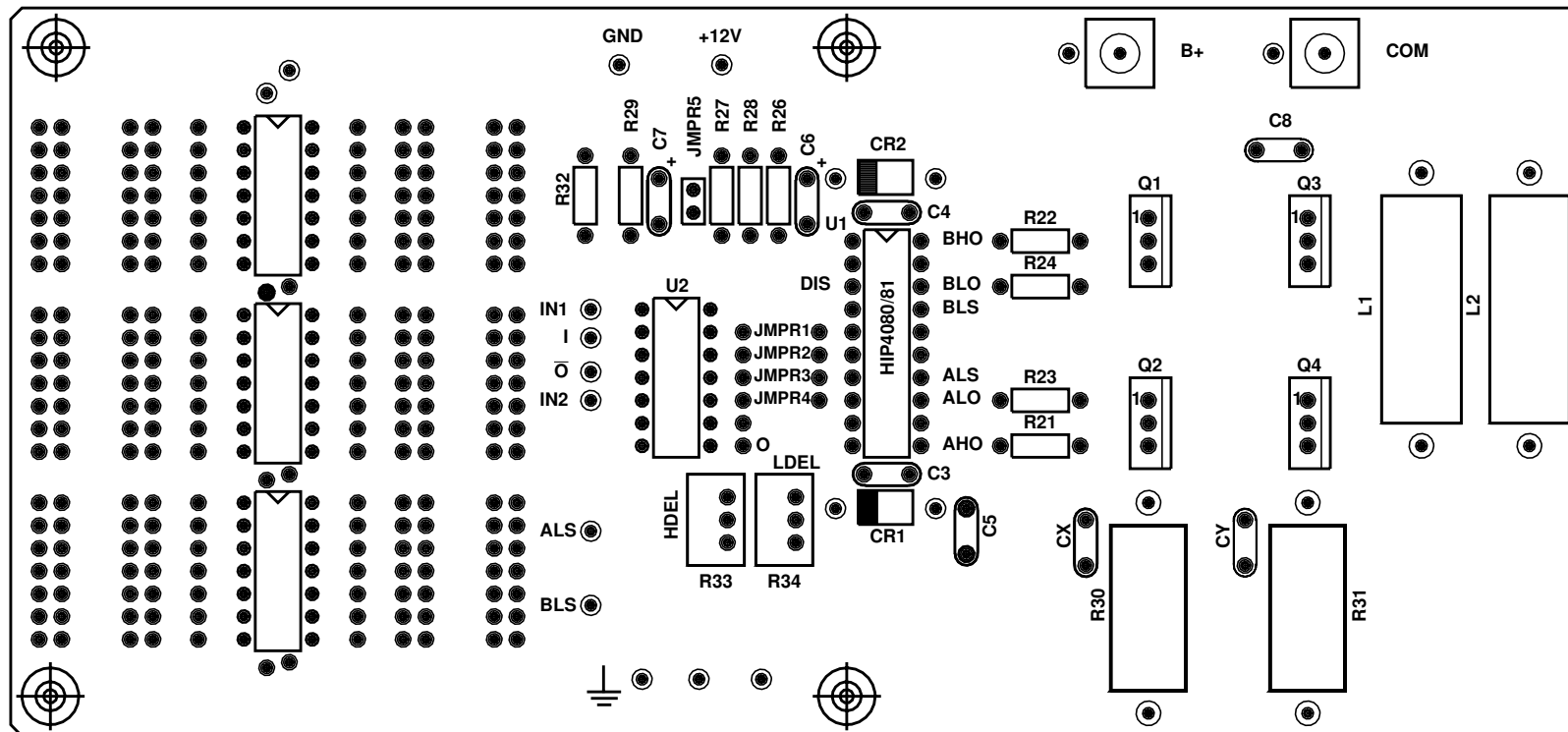
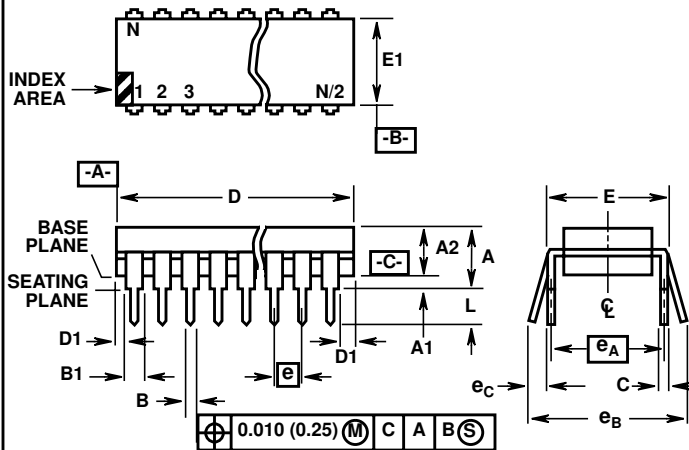


FIGURE 32. HIP4081A EVALUATION BOARD SILKSCREEN

Dual-In-Line Plastic Packages (PDIP)



NOTES:

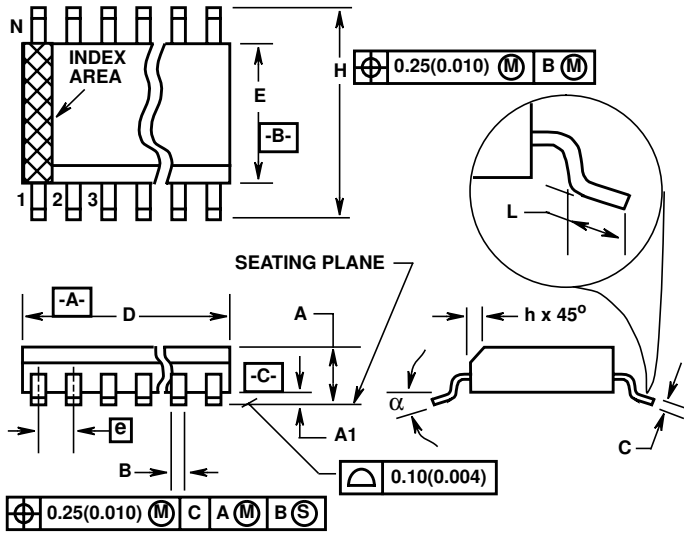
- Controlling Dimensions: INCH. In case of conflict between English and Metric dimensions, the inch dimensions control.
- Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
- Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication No. 95.
- Dimensions A, A1 and L are measured with the package seated in JEDEC seating plane gauge GS-3.
- D, D1, and E1 dimensions do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- E and e_A are measured with the leads constrained to be perpendicular to datum -C-.
- e_B and e_C are measured at the lead tips with the leads unconstrained. e_C must be zero or greater.
- B1 maximum dimensions do not include dambar protrusions. Dambar protrusions shall not exceed 0.010 inch (0.25mm).
- N is the maximum number of terminal positions.
- Corner leads (1, N, N/2 and N/2 + 1) for E8.3, E16.3, E18.3, E28.3, E42.6 will have a B1 dimension of 0.030 - 0.045 inch (0.76 - 1.14mm).

E20.3 (JEDEC MS-001-AD ISSUE D) 20 LEAD DUAL-IN-LINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	-	0.210	-	5.33	4
A1	0.015	-	0.39	-	4
A2	0.115	0.195	2.93	4.95	-
B	0.014	0.022	0.356	0.558	-
B1	0.045	0.070	1.55	1.77	8
C	0.008	0.014	0.204	0.355	-
D	0.980	1.060	24.89	26.9	5
D1	0.005	-	0.13	-	5
E	0.300	0.325	7.62	8.25	6
E1	0.240	0.280	6.10	7.11	5
e	0.100 BSC		2.54 BSC		-
e_A	0.300 BSC		7.62 BSC		6
e_B	-	0.430	-	10.92	7
L	0.115	0.150	2.93	3.81	4
N	20		20		9

Rev. 0 12/93

Small Outline Plastic Packages (SOIC)



M20.3 (JEDEC MS-013-AC ISSUE C) 20 LEAD WIDE BODY SMALL OUTLINE PLASTIC PACKAGE

SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS		NOTES
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	0.0926	0.1043	2.35	2.65	-
A1	0.0040	0.0118	0.10	0.30	-
B	0.013	0.0200	0.33	0.51	9
C	0.0091	0.0125	0.23	0.32	-
D	0.4961	0.5118	12.60	13.00	3
E	0.2914	0.2992	7.40	7.60	4
e	0.050 BSC		1.27 BSC		-
H	0.394	0.419	10.00	10.65	-
h	0.010	0.029	0.25	0.75	5
L	0.016	0.050	0.40	1.27	6
N	20		20		7
α	0°	8°	0°	8°	-

Rev. 0 12/93

NOTES:

1. Symbols are defined in the "MO Series Symbol List" in Section 2.2 of Publication Number 95.
2. Dimensioning and tolerancing per ANSI Y14.5M-1982.
3. Dimension "D" does not include mold flash, protrusions or gate burrs. Mold flash, protrusion and gate burrs shall not exceed 0.15mm (0.006 inch) per side.
4. Dimension "E" does not include interlead flash or protrusions. Interlead flash and protrusions shall not exceed 0.25mm (0.010 inch) per side.
5. The chamfer on the body is optional. If it is not present, a visual index feature must be located within the crosshatched area.
6. "L" is the length of terminal for soldering to a substrate.
7. "N" is the number of terminal positions.
8. Terminal numbers are shown for reference only.
9. The lead width "B", as measured 0.36mm (0.014 inch) or greater above the seating plane, shall not exceed a maximum value of 0.61mm (0.024 inch)
10. Controlling dimension: MILLIMETER. Converted inch dimensions are not necessarily exact.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under **ISO9000** quality systems certification.

Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

Sales Office Headquarters

NORTH AMERICA

Intersil Corporation
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204
Melbourne, FL 32902
TEL: (321) 724-7000
FAX: (321) 724-7240

EUROPE

Intersil SA
Mercure Center
100, Rue de la Fusee
1130 Brussels, Belgium
TEL: (32) 2.724.2111
FAX: (32) 2.724.22.05

ASIA

Intersil (Taiwan) Ltd.
Taiwan Limited
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road
Taipei, Taiwan
Republic of China
TEL: (886) 2 2716 9310
FAX: (886) 2 2715 3029

ANEXO B – Tabela de seleção de fios de cobre condutores

TABELA ORIENTATIVA PARA SELEÇÃO DE FIOS CONDUTORES DE COBRE

REFERÊNCIA DA CORRENTE NOMINAL - MOTORES IP55 60Hz						
POTÊNCIA HP (cv)	MONO (127/220V)		MONO (220/440V)		TRI (220/380/440V)	
	II POLOS	IV POLOS	II POLOS	IV POLOS	II POLOS	IV POLOS
0.50	8.00/4.00 A	9.20/4.60 A	4.00/2.00 A	4.60/2.30 A	-	1.62/0.938/0.810 A
0.75	10.4/5.20 A	12.2/6.10 A	5.20/2.60 A	6.10/3.05 A	2.41/1.40/1.21 A	2.55/1.48/1.28 A
1.00	14.0/7.00 A	13.6/6.80 A	7.00/3.50 A	6.80/3.40 A	2.91/1.68/1.46 A	3.22/1.86/1.61 A
1.50	16.4/8.20 A	14.8/7.42 A	8.20/4.10 A	7.42/3.71 A	4.16/2.41/2.08 A	4.48/2.59/2.24 A
2.00	19.6/9.81 A	20.8/10.4 A	9.81/4.91 A	10.4/5.20 A	5.51/3.19/2.76 A	6.00/3.47/3.00 A
3.00	27.7/13.9 A	30.0/15.0 A	13.9/6.93 A	15.0/7.50 A	8.04/4.65/4.02 A	8.48/4.91/4.24 A
4.00	-	-	18.5/9.24 A	19.0/9.50 A	10.7/6.21/5.36 A	11.7/6.75/5.83 A
5.00	-	-	21.9/11.0 A	22.4/11.2 A	12.8/7.39/6.38 A	13.9/8.02/6.93 A
7.50	-	-	31.4/15.7 A	35.5/17.8 A	18.9/11.0/9.47 A	19.8/11.4/9.88 A
10.00	-	-	40.1/20.0 A	42.3/21.2 A	25.0/14.5/12.5 A	25.8/14.9/12.9 A
12.50	-	-	50.8/25.4 A	52.0/26.0 A	30.0/17.4/15.0 A	33.0/19.1/16.5 A
15.00	-	-	64.2/32.1 A	-	37.0/21.4/18.5 A	38.8/22.5/19.4 A
20.00	-	-	-	-	49.8/28.8/24.9 A	52.6/30.5/26.3 A
25.00	-	-	-	-	61.0/35.3/30.5 A	64.6/37.4/32.3 A
30.00	-	-	-	-	72.2/41.8/36.1 A	74.0/42.8/37.0 A
40.00	-	-	-	-	99.0/57.3/49.5 A	99.2/57.4/49.6 A
50.00	-	-	-	-	121/70.3/60.7 A	122/70.6/61.0 A
60.00	-	-	-	-	147/85.0/73.4 A	152/88.0/76.0 A
75.00	-	-	-	-	173/100/86.4 A	176/102/87.9 A
100.00	-	-	-	-	238/138/119 A	244/141/122 A
125.00	-	-	-	-	284/164/142 A	292/169/146 A
150.00	-	-	-	-	342/198/171 A	352/204/176 A
175.00	-	-	-	-	420/243/210 A	428/248/214 A
200.00	-	-	-	-	470/272/235 A	480/278/240 A
250.00	-	-	-	-	570/330/285 A	590/342/295 A

Bitola de fios e cabos (PVC - 70°C), para alimentação de motores **monofásicos** em temperatura ambiente de 30°C, instalados em eletrodutos não metálicos (Queda de tensão < 2%)
Conforme ABNT NBR - 5410:2004

Tensão (V)	Distância do motor ao painel de distribuição (metros)													
127	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600
Corrente (A)	Bitola do fio ou cabo (condutor em mm²)													
7	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	6	10	10	10	16	16	25
9	2,5	2,5	4	4	6	6	6	10	10	10	16	16	16	25
11	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25	35
15	2,5	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35	35
20	4	6	10	10	10	16	16	25	25	25	35	35	50	50
26	6	10	10	16	16	25	25	25	35	35	50	50	70	70
34	6	10	16	16	16	25	35	35	50	50	50	70	70	95
46	10	16	16	25	25	35	50	50	70	70	70	95	95	120
61	16	16	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	120	150
80	25	25	35	35	50	70	70	95	95	120	120	150	185	240

Bitola de fios e cabos (PVC - 70°C) para alimentação de motores **trifásicos** em temperatura ambiente de 30°C, instalados em eletrodutos aéreos (Queda de tensão < 2%)
Conforme ABNT NBR - 5410:2004

Tensão (V)	Distância do motor ao painel de distribuição (metros)														
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300	
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520	
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600	
Corrente (A)	Bitola do fio ou cabo (condutor em mm²)														
8	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	25	
11	2,5	2,5	4	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	
13	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25	35	
17	2,5	4	6	6	10	10	16	16	25	25	25	25	35	35	
24	4	6	10	10	10	16	25	25	25	35	35	35	50	50	
33	6	10	10	16	16	25	25	35	35	50	50	50	70	70	
43	6	10	16	16	25	25	35	50	50	50	70	70	95	95	
60	10	16	25	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	150	
82	16	25	25	35	35	50	70	70	95	95	120	120	150	185	
110	25	25	35	50	50	70	95	95	120	120	150	150	240	240	
137	35	35	50	50	70	95	95	120	150	150	185	240	240	300	
167	50	50	50	70	70	95	120	150	185	185	240	240	300	400	
216	70	70	70	95	95	120	150	185	240	240	300	300	400	500	
264	95	95	95	95	120	150	185	240	300	300	400	400	500	630	
308	120	120	120	120	150	185	240	300	300	400	400	500	630	630	
356	150	150	150	150	150	240	300	300	400	400	500	500	630	800	
409	185	185	185	185	185	240	300	400	400	500	500	630	800	1000	
485	240	240	240	240	240	300	400	400	500	630	630	800	1000	1000	
561	300	300	300	300	300	400	400	500	630	630	800	800	1000	-	
656	400	400	400	400	400	400	500	630	630	800	1000	1000	-	-	

Bitola de fios e cabos (PVC - 70°C) para a alimentação de motores **trifásicos** em temperatura ambiente de 30°C, instalados em eletrodutos não metálicos (Queda de tensão < 2%)
Conforme ABNT NBR - 5410:2004

Tensão (V)	Distância do motor ao painel de distribuição (metros)														
220	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	250	300	
380	35	50	70	80	100	140	170	200	240	280	310	350	430	520	
440	40	60	80	100	120	160	200	240	280	320	360	400	500	600	
Corrente (A)	Bitola do fio ou cabo (condutor em mm²)														
7	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	
9	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	10	10	16	16	16	25	
10	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25	
14	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35	
18	2,5	4	6	10	10	10	16	16	25	25	25	25	35	50	
24	4	6	10	10	10	16	25	25	25	35	35	35	50	50	
31	6	10	10	16	16	25	25	35	35	35	50	50	70	70	
42	10	10	16	16	25	25	35	35	50	50	70	70	95	95	
56	16	16	16	25	25	35	50	50	70	70	95	120	120	150	
73	25	25	25	25	35	50	50	70	70	95	95	120	150	150	
89	35	35	35	35	50	50	70	95	95	120	120	150	185	185	
108	50	50	50	50	50	70	95	95	120	120	150	150	185	240	
136	70	70	70	70	70	95	95	120	150	150	185	185	240	300	
164	95	95	95	95	95	95	120	150	185	185	240	240	300	400	
188	120	120	120	120	120	120	150	185	185	240	240	300	400	400	
216	150	150	150	150	150	150	150	185	240	240	300	300	400	500	
245	185	185	185	185	185	185	185	240	240	300	300	400	500	500	
286	240	240	240	240	240	240	240	240	300	400	400	400	500	630	
328	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	500	500	630	800	
390	400	400	400	400	400	400	400	400	400	500	500	630	800	800	
447	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	630	630	800	1000	
514	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	800	1000	-	
593	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	1000	-	
679	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	

Tabelas orientativas. Em caso de dúvidas, consulte o fabricante.

ANEXO C – *Datasheet* PC817

PC817 Series

High Density Mounting Type Photocoupler

* Lead forming type (I type) and taping reel type (P type) are also available. (PC817I/PC817P)

** TÜV (VDE0884) approved type is also available as an option.

■ Features

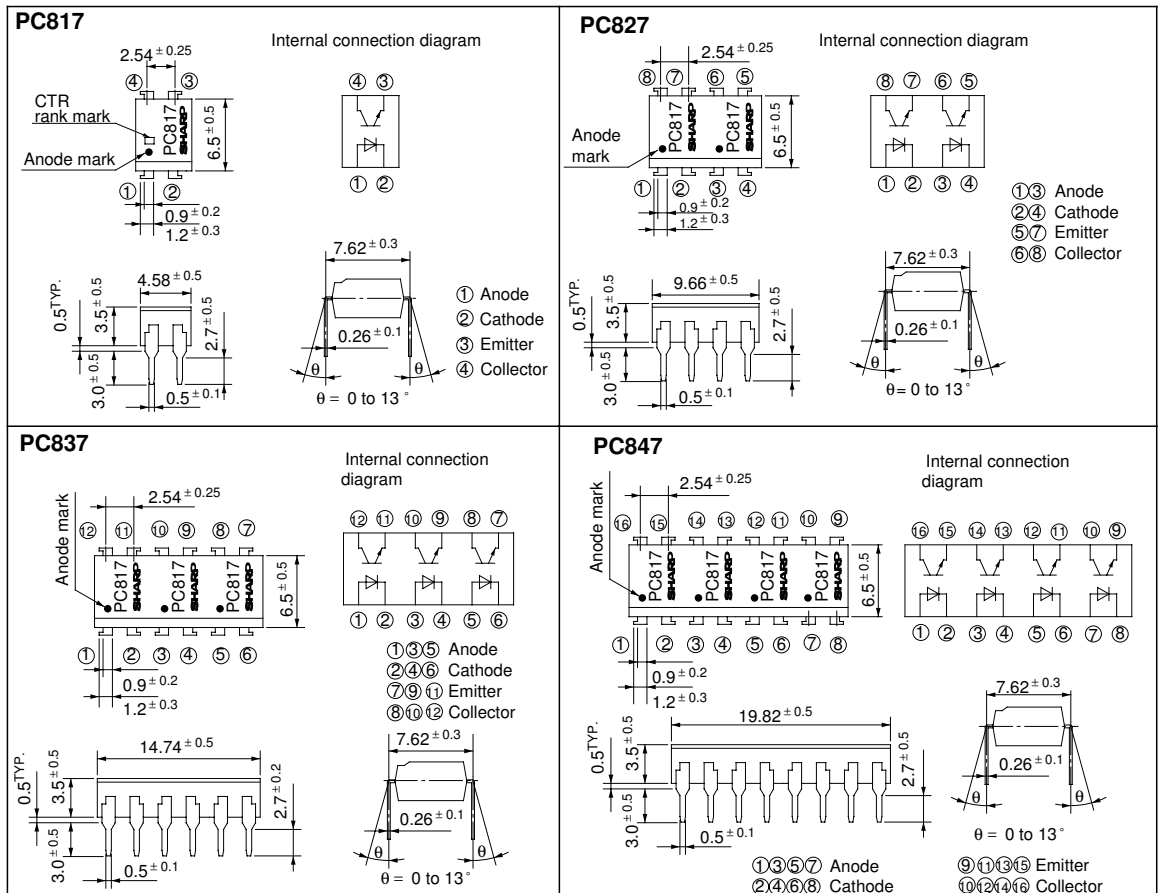
1. Current transfer ratio
(CTR: MIN. 50% at $I_F = 5\text{mA}$, $V_{CE} = 5\text{V}$)
2. High isolation voltage between input and output (V_{iso} : 5 000V_{rms})
3. Compact dual-in-line package
PC817: 1-channel type
PC827: 2-channel type
PC837: 3-channel type
PC847: 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

■ Outline Dimensions

(Unit: mm)



■ Absolute Maximum Ratings

(Ta = 25°C)

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	I_F	50	mA
	*1 Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	50	mA
	Collector power dissipation	P_C	150	mW
	Total power dissipation	P_{tot}	200	mW
	*2 Isolation voltage	V_{iso}	5 000	V_{rms}
	Operating temperature	T_{opr}	- 30 to + 100	°C
	Storage temperature	T_{stg}	- 55 to + 125	°C
	*3 Soldering temperature	T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width $\leq 100\mu s$, Duty ratio : 0.001

*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

*3 For 10 seconds

■ Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

	Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V
	Reverse current	I_R	$V_R = 4V$	-	-	10	μA
	Terminal capacitance	C_t	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF
Output	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE} = 20V$	-	-	10^{-7}	A
Transfer characteristics	*4 Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V, 40 to 60% RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω
	Floating capacitance	C_f	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF
	Cut-off frequency	f_c	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz
Response time	Rise time	t_r	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-	4	18	μs
	Fall time	t_f		-	3	18	μs

*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

※ : 1 or 2 or 3 or 4

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature

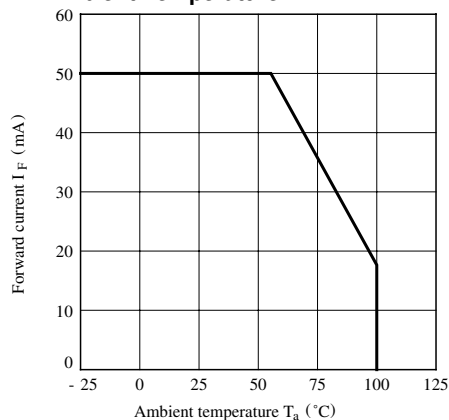


Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

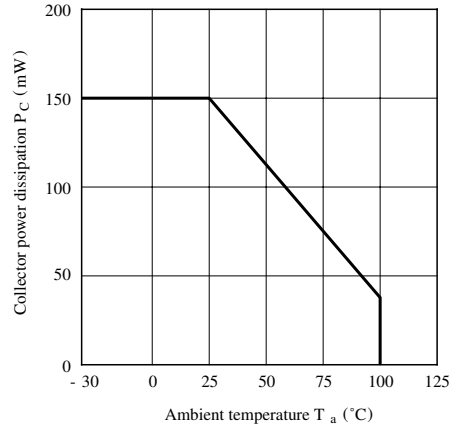


Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

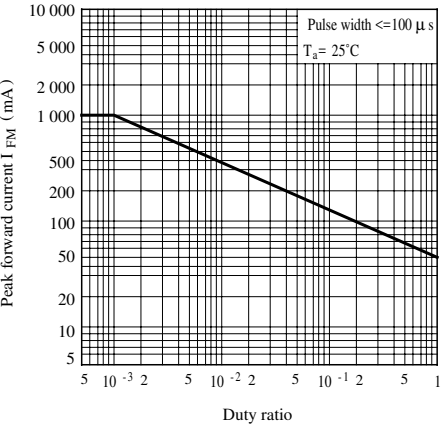


Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current

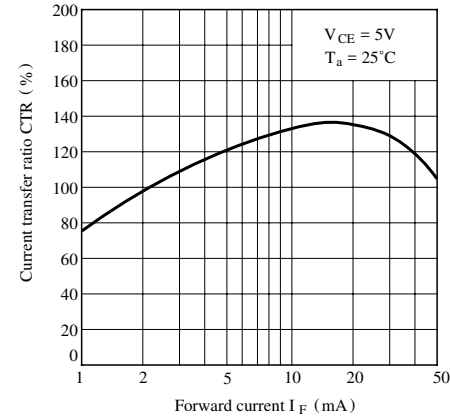


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

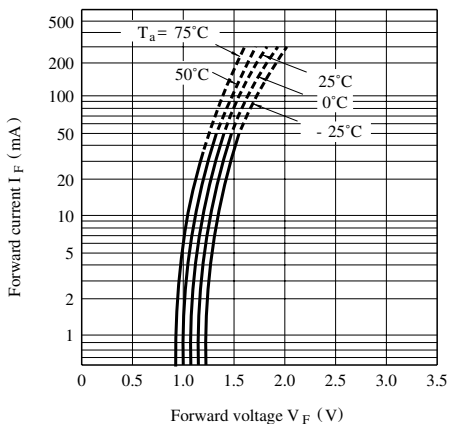


Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage

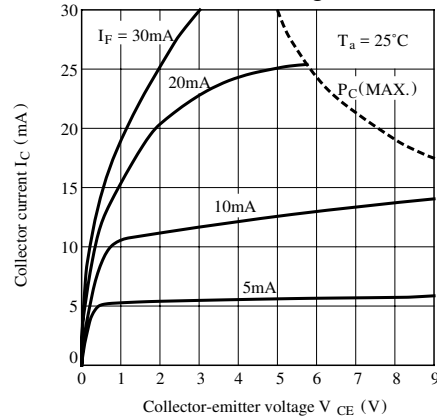


Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

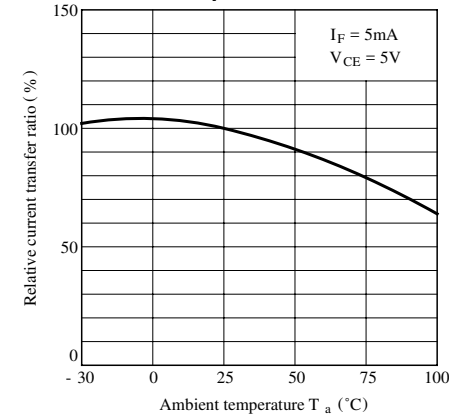


Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

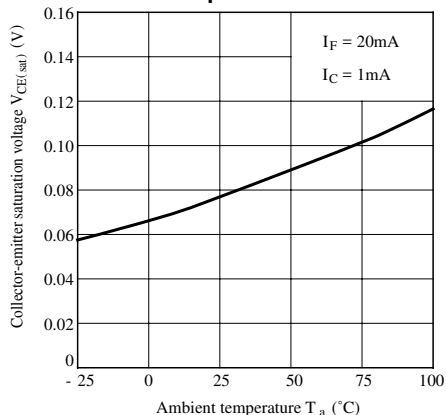


Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature

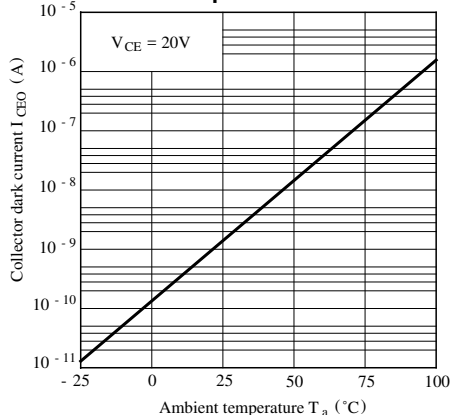


Fig.10 Response Time vs. Load Resistance

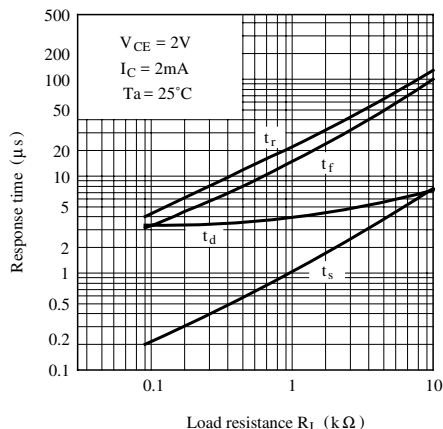
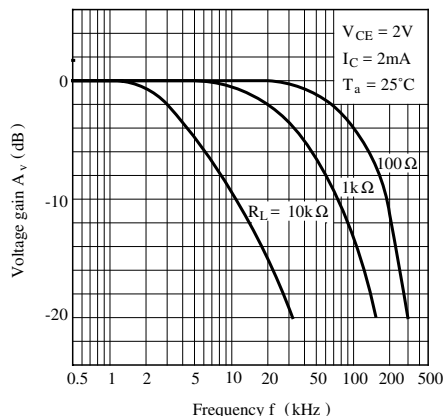
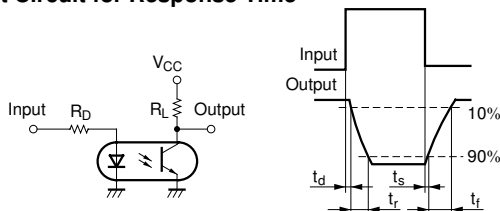


Fig.11 Frequency Response



Test Circuit for Response Time



Test Circuit for Frequency Response

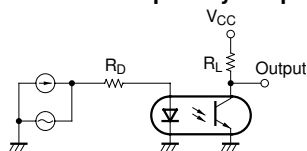


Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current

