

UFMS

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
ATIVIDADE ORIENTADA DE ENSINO

RELATÓRIO TÉCNICO

Técnicas para controle de motor BLDC com diferentes interfaces de potência.

Alunos:

Natália Silva Duarte

Junho de 2025



Natália Silva Duarte

RELATÓRIO TÉCNICO

Técnicas para controle de motor BLDC com diferentes interfaces de potência.

Junho de 2025

1 Resumo

Este relatório apresenta um estudo sobre a ativação de motores brushless (BLDC) aplicados à locomoção de um robô da equipe AraraBots. Os motores BLDC são controlados eletronicamente para permitir ajustes precisos de velocidade e torque. O objetivo do trabalho é comparar diferentes técnicas e interfaces de potência para o controle desses motores, visando garantir a movimentação eficiente do robô durante as partidas.

2 Introdução

Os motores *brushless*, ou BLDC (*Brushless Direct Current*), são motores elétricos de corrente contínua que funcionam sem escovas, diferentemente dos motores CC convencionais. Essa ausência de escovas reduz atrito e o desgaste, proporcionando maior eficiência e durabilidade.

Ao invés de utilizar escovas, os motores *brushless* contam com um controlador eletrônico que alterna a corrente entre as bobinas do estator, assim gerando um campo magnético que ativa pares de bobinas, conferindo um movimento rotativo ao rotor. Deste modo, permite ajustes precisos de velocidade e torque, tornando esses motores ideais para aplicações que exigem alta precisão, como a movimentação dos robôs.

Torna-se necessário, portanto, o uso de controladores para a ativação dos motores BLDC. O objetivo deste estudo é empregar diferentes técnicas de ativação — por meio de distintas interfaces de potência — adequadas ao uso em um robô da equipe AraraBots, que atua na categoria SSL-EL (*Small Size League - Entry Level*). As regras da categoria podem ser consultadas em [1].

As atividades realizadas pelo robô durante as partidas de futebol não serão exploradas neste relatório, visto que fogem ao escopo do estudo. A única necessidade considerada é a de movimentação. Utilizando os motores da fabricante *IFlight* (Tabela 1), espera-se que o robô seja capaz de superar o

Table 1: Características técnicas dos motores *IFlight* GM3506 e GM4108-120T. Conforme especificado pelo fabricante, respectivamente, [2] e [3].

	GM3506	GM4108-120T
Corrente máxima com carga (A)	1	1,5
Tensão máxima com carga (V)	12	20
Torque com carga ($g \cdot cm$)	600 – 1000	1200 – 1800
Diâmetro externo (mm)	$\phi 40 \pm 0,05$	$\phi 45 \pm 0,05$
Altura (mm)	$17,8 \pm 0.2$	$32,3 \pm 0.2$

atrito estático, iniciando o deslocamento. Dessa forma, o conjunto de quatro motores é responsável por movimentar o robô durante as partidas.

Esses motores possuem um formato cilíndrico e um rotor externo, ou seja, a parte fixa está no centro, enquanto todo o acoplamento é responsável por transmitir o movimento.

3 Desenvolvimento

Esta seção apresenta o estudo de técnicas de controle aplicadas a motores BLDC, com ênfase na avaliação de diferentes interfaces de potência para o motor selecionado.

3.1 Seleção dos motores

Inicialmente, foi adquirido o motor GM3506 devido à sua altura reduzida, que, quando comparada à de outros modelos da categoria, proporcionava mais espaço interno para a acomodação de outros componentes. Após uma série de testes, realizados com diversas interfaces de potência, ficou evidente que o torque fornecido por esse modelo era insuficiente para movimentar o robô.

Assim, optou-se por utilizar o GM4108-120T (Figura 1), por ter um torque consideravelmente maior. A Tabela 1 apresenta as características essenciais para a sua escolha.



Figure 1: Motor BLDC *gimbal* modelo GM4108-120T.

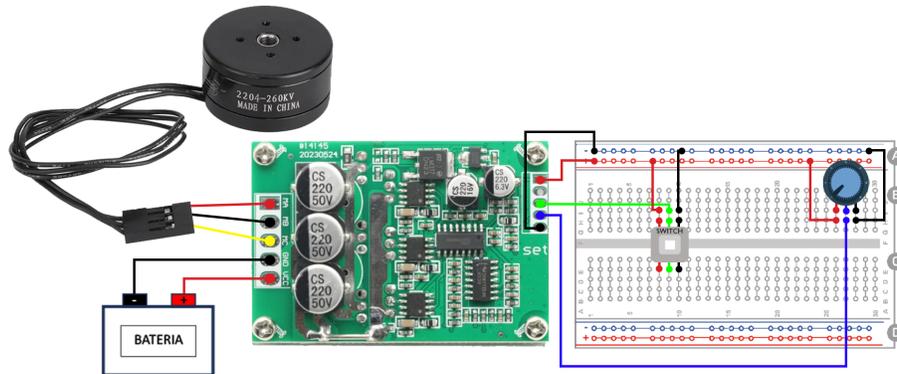


Figure 2: Circuito para utilização do *driver* comum.

3.2 Interfaces de potências

Nesta seção será apresentado os métodos e técnicas utilizadas na escolha da interface de potência ideal para o controle de motores BLDC.

3.2.1 *Driver* tradicional de motor

O primeiro teste foi realizado em um controlador de motor BLDC comum, justamente pela disponibilidade no laboratório em que os experimentos foram realizados. O circuito montado pode ser observado na Figura 2.

Durante os teste, que não envolveram o uso de microcontroladores, o motor e a bateria de alimentação foram ligados diretamente ao *driver*, para que houvesse controle da velocidade do motor e do sentido de rotação foi utilizado um circuito auxiliar.

Com a utilização do circuito auxiliar tornou-se possível a alteração da velocidade de rotação do motor, por meio do potenciômetro, e com a chave (2 polos/2 posições) a alteração do sentido de rotação. Porém, a inversão do sentido era muito lenta, o motor parava abruptamente, permanecia alguns segundos parado e então iniciava a rotação no sentido contrário.

Para a aplicação na categoria SSL-EL é de extrema importância que a inversão seja feita de forma que o motor desacelere, de maneira efetiva (sem perder torque), até que o sentido seja invertido.

3.2.2 *Eletronic Speed Controller*

O ESC (*Eletronic Speed Controller*), um controlador eletrônico de velocidade, foi a segunda abordagem utilizada para acionar os motores. Este dispositivo é amplamente utilizado em drones para o acionamento de motores *brushless*, e tem como função principal variar a rotação do motor elétrico através do controle de acionamento das bobinas.

O ESC utiliza um microcontrolador interno que gera uma sequência pré-definida de sinais em seu firmware para o acionamento do circuito de MOSFETs responsável por energizar as bobinas. O controle de velocidade é feito através de um sinal *Pulse Width Modulation (PWM)*, que é recebido e interpretado pelo microcontrolador do ESC, convertendo-o em sinais para o chaveamento dos MOSFETs.

É possível observar na Figura 3 que o dispositivo possui três saídas, A, B e C destacadas, sendo que essas conexões são responsáveis por acionar as bobinas do motor. Caso as conexões A e C sejam invertidas, isso inverterá o sentido da rotação do motor.

O modelo de ESC selecionado não apresentava a possibilidade de inversão do sentido da rotação do motor, fator indispensável para a movimentação



Figure 3: Controlador eletrônico de velocidade (ESC).

do robô. Com o propósito de resolver esse problema, uma solução rápida foi implementada, invertendo, por meio de relés HJR1-2CL 12V da fabricante *Tianbo*, os sinais enviados para os terminais A e C, e, desta forma, invertendo o sentido de rotação quando necessário, para a construção do circuito foi consultado o *datasheet*, disponível em [7].

Nos testes, o circuito inversor apresentou um desempenho insatisfatório devido à inversão ocorrer de forma lenta, comprometendo o dinamismo necessário para a aplicação.

Após realizar testes de movimentação, constatou-se que, embora os quatro motores possuíssem torque suficiente para deslocar o robô, o controle por meio dos ESCs resultava em um torque reduzido. Isso ocorre porque os ESCs são amplamente empregados no aeromodelismo, uma aplicação que exige alta velocidade de rotação a maior parte do tempo.

Além disso, o motor usado para acionar hélices trabalha com uma carga pequena (torque pequeno) em baixas rotações e, portanto, os ESCs para essas aplicações parecem não ser projetados para se obter torque elevado em baixas rotações. Na movimentação do robô, o cenário é bem diferente, pois

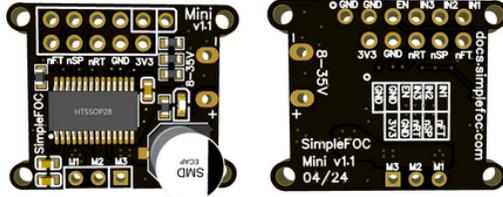


Figure 4: Imagens do módulo SimpleFOCMini v1.1.

é necessário torque elevado mesmo em baixas rotações para superar o atrito estático.

3.2.3 SimpleFOCMini

Uma das alternativas encontradas durante a Competição Brasileira de Robótica 2024, foi a utilização da placa SimpleFOCMini v1.1, por ser um *driver* compacto, de baixo custo e altamente eficiente desenvolvido para o controle de motores *brushless*. Esse *driver* faz parte do ecossistema SimpleFOC, uma plataforma de código aberto voltada à simplificação da implementação de controle orientado por campo. As informações do *driver* podem ser encontradas na documentação oficial em [4].

A versão em miniatura da placa (Figura 4), além de manter a compatibilidade com a biblioteca SimpleFOC, foi projetada para ocupar pouco espaço físico, sendo ideal para projetos com restrições de tamanho. O SimpleFOCMini v1.1 utiliza um *driver* BLDC de três fases baseado no CI DR8313 (*datasheet* disponível em [6]), permitindo o controle de motores trifásicos com tensão de alimentação entre 8 e 35V, com corrente máxima de 2,5A.

Ainda sobre o SimpleFOCMini, a placa é capaz de controlar um motor (porta M1, M2 e M3), por meio de 3 sinais *PWMs* de entrada gerados por um microcontrolador, e também é responsável pela alimentação dos motores. A conexões foram realizadas conforme descrito na documentação oficial [5], com adaptações devido à ausência de *encoders*.

Os três sinais *PWMs*, recebidos pelas portas IN1, IN2 e IN3, são convertidos em uma forma de onda senoidal. Essa conversão permite uma ativação

contínua dos motores. Uma das principais vantagens da técnica FOC (*Field-Oriented Control*) é a geração de um campo magnético intenso, com controle preciso da intensidade e, conseqüentemente, do torque gerado pelo motor. [8]

4 Conclusão

Por meio do experimento, foi verificado que para aplicações que exigem torque em baixas rotações — como a desenvolvida pela equipe AraraBots — a interface de potência mais adequada foi a SimpleFOCMini v1.1. Já em casos em que a velocidade de rotação é o principal objetivo, como no aeromodelismo, a utilização de ESCs se mostra realmente mais vantajosa. É importante destacar que os testes com o primeiro *driver* foram interrompidos antes que fosse possível identificar suas vantagens para a aplicação, especialmente pela necessidade de uma inversão de sentido eficaz.

Referências bibliográficas

- [1] RoboCup Federation. *RoboCup Small Size League Rules*. 2024. <https://ssl.robocup.org/rules/>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- [2] iFlight. *iPower GM3506 Gimbal Motor*. Disponível em: <https://iflight-rc.eu/en-us/products/ipower-gm3506-gimbal-motor>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- [3] iFlight. *iPower GM4108-120T Gimbal Motor*. Disponível em: <https://iflight-rc.eu/en-sa/products/ipower-gm4108h-120t-gimbal-motor>. Acesso em: 29 jun. 2025.
- [4] SimpleFOC Team. *SimpleFOCMini v1.1*. Disponível em: <https://docs.simplefoc.com/simplefocmini>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- [5] SimpleFOC Team. *Connecting the hardware to SimpleFOCMini v1.1*. Disponível em: https://docs.simplefoc.com/mini_v11_connect_hardware. Acesso em: 25 jun. 2025.
- [6] Texas Instruments. *DRV8313 Triple Half-h-Bridge Driver IC*. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/482777/TI/DRV8313.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- [7] Tianbo. *HJR1-2C-L-12V Relay Datasheet*. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1141209/TIANBO/HJR1-2C/251/1/HJR1-2C.html>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- [8] BIDA, Vladislav M.; SAMOKHVALOV, Dmitry V.; AL-MAHTURI, Fuad Sh. *PMSM vector control techniques — A survey*. 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2018. p. 577–581. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/EIConRus.2018.8317164>. Acesso em: 27 jun. 2025.