

Victoria Leal Garcia de Souza

**Modelagem e construção de um monociclo
autoequilibrado**

Inspere
Engenharia Mecatrônica

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Brito de Novaes
Coorientador: Dr. Gabriel Pereira das Neves

São Paulo
2023

Sumário

1	PROPOSTA DE PROJETO	3
1.1	Introdução	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Metodologia	4
1.4	Resultados Esperados	5
1.5	Cronograma	5
	REFERÊNCIAS	7

1 Proposta de Projeto

1.1 Introdução

Um monociclo auto-equilibrado consiste em um veículo que mantém a posição de equilíbrio apenas mantendo uma roda em contato com o chão, utilizando outro sistema de atuação para controlar o ângulo de queda lateral. O controle de um monociclo por meio de uma roda de inércia é um conceito recente que tem sido progressivamente mais explorado na última década. Conforme a literatura até então publicada, há apenas um tal monociclo na América Latina, originalmente construído em 2017 (NEVES, 2017) por um dos professores orientadores. Ele possui dois graus de liberdades controlados: os ângulos de *pitch* e *roll*. O controle do primeiro ângulo é feito através da roda em contato com o chão, enquanto o controle do ângulo de *roll* é feito através de uma roda de reação (NEVES; ANGÉLICO; AGULHARI, 2020). Atualmente o sistema não possui controle no ângulo de *yaw*.

Os ângulos de *pitch*, *roll* e *yaw* são os ângulos em torno dos eixos y , x e z , respectivamente. O desenho esquemático do monociclo, juntamente com o sistema de coordenada de referência, são apresentados na Figura 1.1.

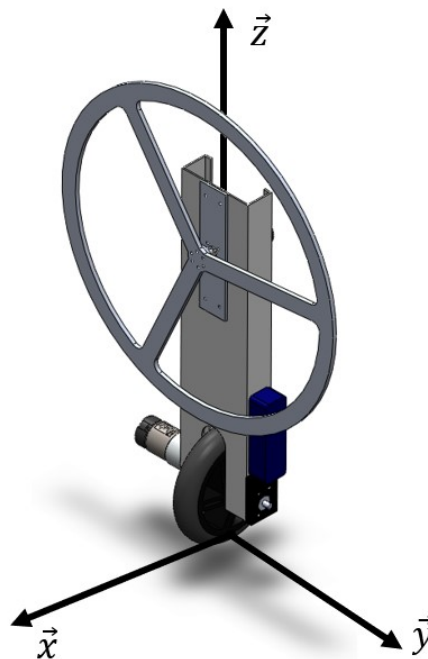


Figura 1 – Desenho esquemático do monociclo.

(ADD: indicadores de *pitch*, *roll* e *yaw* em torno dos eixos; CONSIDER tabela indicando nomes dos componentes (sugestão do big paulo))

Há literatura significativa a respeito do controle da estabilidade estática sobre uma roda. Algumas das soluções já existentes para o controle dos graus de liberdade em monociclos autônomos incluem o uso de giroscópios (DEVELOPMENT...,), a adição de uma (HO; RIZAL; CHEN, 2014) ou mais rodas de inércia (GEIST et al., 2022), o uso de força magnética (RUAN et al., 2012), massas móveis afim de mudar o centro de massa (GUO; HE; SONG, 2016) ou o uso de uma *omniwheel* (SHEN; HONG, 2020).

Enquanto o sistema de acionamento de escolha para o controle de estabilidade estática não é um tema pouco explorado, é importante considerar como o monociclo autônomo poderia comportar outros acionadores afim de controlar o ângulo responsável por fazer curvas - o de yaw, em torno de z - para poder, posteriormente à construção de um tal monociclo, o fazer seguir trajetórias.

GAB: filtro de kalmann, lqr e controle robusto usando \mathcal{H}_2 pra controlar o mono? UNSURE IF bases teóricas gerais. RELEVANT? sistema modelado usando a mecânica de lagrange, e depois linearizado; I de lqr implica que o sistema é linear ent óbvio mas "eu sei do que eu tou falando".

1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal replicar o monociclo autônomo apresentado na introdução. Para tal, foram estabelecidos objetivos intermediários:

- Verificar possíveis melhorias que podem ser feitas ao modelo matemático existente;
- Estudar as técnicas de controle avançado já implementadas e avaliar a implementação de outras técnicas;
- Otimizar a construção da réplica com técnicas de manufatura avançadas.

O projeto tem como objetivo secundário fazer uma réplica em escala menor.

1.3 Metodologia

Materiais a serem utilizados/objeto de estudo, técnicas experimentais/metodologia de obtenção/análise de dados/resultados. Usar subseções para técnicas.

De maneira a atingir o objetivo primário de construir uma réplica do monociclo autônomo apresentado, a metodologia proposta é de inicialmente construir um modelo simulado onde seja possível verificar tanto a parte referente ao modelo matemático quanto à das técnicas de controle, ambas implementadas no monociclo a ser reproduzido. Para construir o modelo simulado, é proposto:

- Revisar a literatura publicada sobre o monociclo de referência;
- Conferir o modelo matemático existente e fazer quaisquer possíveis readequações necessárias;
- Analisar o LQR e norma \mathcal{H}_2 aplicados ao monociclo e verificar a necessidade de implementar outros métodos de controle;

Uma vez estabelecidos os parâmetros da réplica, haverá necessidade de verificar a disponibilidade para compra dos componentes requeridos (dimensionar os componentes como os motores e bateria que serão utilizados, por exemplo) para que a manufatura e implementação do sistema de atuação seja possível.

Por fim, é de fundamental importância a validação prática para verificar o funcionamento da réplica. A validação será composta dos mesmos testes que foram feitos com o monociclo original - verificar se consegue manter a estabilidade estática e rejeição de perturbação - de forma que seja possível comparar ambos os monociclos.

1.4 Resultados Esperados

Como o objetivo principal é construir uma réplica de um monociclo autônomo com os ângulos *pitch* e *roll* controlados, o primeiro dos resultados esperados é que seja possível replicá-lo seguindo a literatura publicada a respeito da referência. É de se esperar que a etapa de maior risco para este objetivo seja a de manufatura, especialmente no que diz respeito ao redimensionamento do monociclo e as implicações para o nível de precisão que é necessário para algumas peças. É possível que o objetivo secundário de fazer a réplica em escala menor não seja possível de ser cumprido, então a construção de uma réplica em mesma escala seria considerada satisfatória para este projeto.

Enquanto é posto como um objetivo intermediário a possibilidade de modificar o controle presente no monociclo, é esperado que as técnicas de controle implementadas na literatura publicada sobre o monociclo estudado sejam suficientemente ótimas para um primeiro protótipo. O mesmo vale para o modelo matemático.

1.5 Cronograma

O cronograma proposto, na Tabela 1.5, é composto das atividades delimitadas na seção de metodologia, dividido por mês e semestre visando ter uma melhor organização do tempo.

Atividade	1º semestre						2º semestre					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Revisão bibliográfica	x	x	x									
Conferir o modelo matemático	x											
Analisar o controle implementado		x	x									
Elaboração do modelo simulado		x	x									
Compra de materiais e componentes				x	x	x						
Relatório intermediário					x	x						
Manufatura e construção					x	x	x	x	x	x	x	
Testes práticos e validação									x	x	x	x
Relatório final												x
Revisão do cronograma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabela 1 – Cronograma proposto para o trabalho.

Referências

DEVELOPMENT of the unicycle-riding robot. <<https://corporate.murata.com/newsroom/news/company/csrtopic/2008/0923>>. Citado na página 4.

GEIST, A. R. et al. The wheelbot: A jumping reaction wheel unicycle. *IEEE Robotics and Automation Letters*, v. 7, n. 4, p. 9683–9690, 2022. Citado na página 4.

GUO, L.; HE, K.; SONG, Y. Design of the sliding mode controller for a kind of unicycle robot. *2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, p. 1432–1437, 2016. Citado na página 4.

HO, M.-T.; RIZAL, Y.; CHEN, Y.-L. Balance control of a unicycle robot. In: *2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1186–1191. Citado na página 4.

NEVES, G. P. *Modeling, construction and control of a self-balancing unicycle*. 2017. Citado na página 3.

NEVES, G. P.; ANGÉLICO, B. A.; AGULHARI, C. M. Robust H_2 controller with parametric uncertainties applied to a reaction wheel unicycle. *International Journal of Control*, Taylor Francis, v. 93, n. 10, p. 2431–2441, 2020. Citado na página 3.

RUAN, X. et al. Lateral stabilization of a single wheel robot applying electromagnetic force. In: *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 3675–3680. Citado na página 4.

SHEN, J.; HONG, D. Omburo: A novel unicycle robot with active omnidirectional wheel. In: *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 8237–8243. Citado na página 4.