

PROJETO DIDÁTICO DE BALANÇA DE ALTO BALANÇO

HIGH-BALANCE SCALE TEACHING PROJECT

Ailton Vicente da Silva Junior^{1, I}
Bruno Cesar Gimenes^{2, II}
Ricardo Favaro^{3, III}
Roberto Giani Pattaro Junior^{4, IV}
Hugo Sakai Idagawa^{5, V}

RESUMO

Na prática de aprendizagem entre as turmas da faculdade, desenvolvemos um produto interativo que une três times: Mecânica, Mecatrônica e ADS. O resultado é uma bicicleta de alto equilíbrio, capaz de manter o controle de estabilidade, locomovendo-se sozinha ou por controle remoto, sem cair. Mesmo ao sofrer esbarrões durante o trajeto, ela continua seu percurso mantendo o equilíbrio. Nosso foco é realizar a parte mecânica do projeto, fornecendo a base estrutural para todos os motores e componentes eletrônicos, garantindo total funcionalidade para que os times possam desempenhar um trabalho eficiente.

Palavras-chave: Material Didático, Bicicleta Alto Balanço Volante de inércia, Estabilização por controle inicial, Impressão 3D e Usinagem,

1 Graduando em Tecnologia de Fabricação Mecânica na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”.
E-mail: ailtonsossajlm@gmail.com

2 Graduando em Tecnologia de Fabricação Mecânica na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”.
E-mail: bruno89gimenes@hotmail.com

3 Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” e Mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp. E-mail: ricardo.favaro@sp.senai.br

4 Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” e Mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp. E-mail: roberto.gjunior@sp.senai.br

5 Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange” e Mestre em Engenharia Mecânica pela Unicamp. E-mail: hugo.sakai@sp.senai.br

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de um projeto interdisciplinar que une três turmas da faculdade de tecnologia: Mecânica, Mecatrônica e Análise e Desenvolvimento de Sistemas (ADS). A proposta consiste no desenvolvimento de uma bicicleta de alto equilíbrio, capaz de se manter estável e em movimento de forma autônoma ou controlada remotamente, mesmo diante de obstáculos em seu trajeto.

A integração entre as três áreas é fundamental para o sucesso do projeto. A equipe de Mecânica é responsável pela concepção e fabricação da estrutura física, garantindo robustez, segurança e precisão na montagem dos componentes. A equipe de Mecatrônica atua na integração dos sistemas eletrônicos e sensores responsáveis pelo controle de equilíbrio e movimentação. Já a equipe de ADS é responsável pelo desenvolvimento de software, interfaces de controle e integração dos sistemas.

Ao final, o produto servirá não apenas como um protótipo funcional, mas também como um material didático para a faculdade, permitindo que futuros estudantes tenham contato prático com conceitos multidisciplinares aplicados à engenharia e à tecnologia.

Como desenvolver um sistema mecânico que possibilite a integração de componentes eletrônicos e de software, de forma que uma bicicleta de alto equilíbrio funcione de maneira estável e segura, promovendo a interação prática entre diferentes áreas da engenharia e tecnologia, e servindo como recurso didático para a instituição?

Desenvolver a parte mecânica de uma bicicleta de alto equilíbrio, integrando-a aos sistemas eletrônicos e de software criados pelas equipes de Mecatrônica e ADS, a fim de obter um protótipo funcional e didático.

O desenvolvimento do projeto interdisciplinar é ideal para preparar estudantes para os desafios reais do mercado de trabalho, onde diferentes áreas do conhecimento precisam atuar de forma integrada. Este projeto não apenas possibilita a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, como também promove a troca de experiências entre os alunos de Mecânica, Mecatrônica e ADS.

A criação da bicicleta de alto equilíbrio permitirá explorar conceitos de mecânica, eletrônica, automação e programação, resultando em um produto inovador e funcional. Além disso, sua utilização como material didático contribuirá para o aprendizado de futuras turmas, tornando-se um legado acadêmico para a faculdade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A estabilidade e o controle de sistemas mecânicos e aeroespaciais dependem de um gerenciamento eficiente da energia e do momento angular. Nesse contexto, o volante de inércia (ou *flywheel*) constitui um elemento fundamental, tanto do ponto de vista funcional quanto teórico. O princípio de operação baseia-se na dinâmica rotacional, mais especificamente na conservação do momento angular, sendo utilizado para armazenar energia cinética rotacional e estabilizar sistemas dinâmicos.

Seguindo os conceitos de Meriam e Kraige (2012), o volante de inércia pode ser modelado como um corpo rígido com momento de inércia I , que gira com velocidade angular ω (ômega). Quando a energia armazenada nesse tipo de sistema é dada por:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2$$

e pode ser transferida ou modulada para influenciar o comportamento de outros elementos mecânicos ou estruturais. Essa característica a torna especialmente útil em aplicações que demandam suavização de torque, estabilização de plataformas ou armazenamento temporário de energia.

No conceito usado na linha aeroespacial, os volantes de inércia são frequentemente integrados a sistemas de controle de atitude, onde operam como atuadores em conjunto de sensores e algoritmos de controle. No conceito de Sidi (1997), essa tecnologia é amplamente utilizada em satélites artificiais, em substituição ou complemento aos propulsores, permitindo ajustes finos na orientação da nave por meio da redistribuição do momento angular interno, sem o consumo de combustível. Torna esse processo possível por interação entre os princípios da mecânica clássica e os fundamentos do controle dinâmico.

A estabilização por controle inicial é estratégica da engenharia de controle, que visa garantir a resposta desejada de um sistema dinâmico desde o instante de partida. Segundo Ogata (2010), o controle inicial adequado é essencial para evitar condições transitórias indesejadas ou instabilidades que possam comprometer o desempenho ou a segurança do sistema. Os projetos que envolvem volantes de inércia, essa estabilização inicial pode incluir o ajuste das velocidades angulares de partida, a definição de estados iniciais otimizados e a aplicação de leis de controle baseadas em realimentação (feedback).

Além disso, Franklin, Powell e Emami-Naeini (2015) citam que o uso de técnicas como controle proporcional-integral-derivativo (PID), controle ótimo ou adaptativo pode ser decisivo para garantir a resposta desejada de sistemas com alta inércia rotacional. A integração entre modelagem matemática, simulação computacional e testes experimentais é frequentemente necessária para validar o desempenho dessas soluções de controle em diferentes condições operacionais.

Por fim, o crescente interesse em fontes alternativas de armazenamento de energia tem renovado o interesse pelos volantes de inércia também em aplicações de engenharia elétrica e energética. De acordo com Wood (2003), sistemas modernos de armazenamento por volante de inércia são capazes de oferecer respostas rápidas e sustentáveis para o balanceamento de redes elétricas, beneficiando-se da ausência de desgaste químico e da alta eficiência de conversão energética.

Dessa forma, o estudo do volante de inércia e das técnicas de estabilização por controle inicial constitui um campo multidisciplinar, que envolve conhecimentos de mecânica clássica, engenharia de controle, sistemas dinâmicos e aplicações aeroespaciais e energéticas. A fundamentação teórica aqui apresentada serve como base para a análise e desenvolvimento da pesquisa proposta, sendo retomada sempre que necessário para sustentar a argumentação técnica e científica ao longo do trabalho.

3 METODOLOGIA

Este trabalho adota uma metodologia de caráter exploratório e qualitativo, fundamentada em pesquisas bibliográficas sobre equilíbrio, centro de massa, torque e força centrípeta. O projeto consiste no desenvolvimento de uma bicicleta de alto equilíbrio, equipada com um disco central responsável pelo controle de estabilidade, mesmo diante de obstáculos.

O processo envolve modelagem 3D no SolidWorks, cálculos de centro de massa e torque, além da fabricação de componentes por usinagem em alumínio e impressão 3D. As etapas incluem a produção de rodas, garfos e suportes de motor, sempre

priorizando alívio de peso e rigidez estrutural. As equipes de Mecânica, Mecatrônica e ADS atuam de forma integrada, desenvolvendo também placas eletrônicas e sistemas de controle via celular. A montagem final será feita com encaixes e fixações que garantam estabilidade, precisão e durabilidade do protótipo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do projeto da bicicleta de alto equilíbrio, foram realizadas diversas atividades técnicas e colaborativas entre as três equipes envolvidas (Mecânica, Mecatrônica e ADS).

Na área de Mecânica, foram elaborados modelos 3D completos da estrutura, permitindo simulações iniciais de montagem e avaliação de interferências entre componentes. Com base nesses modelos, foram gerados desenhos técnicos 2D para a fabricação de peças em diferentes processos, incluindo torneamento de eixos e suportes, bem como fresamento de componentes no centro de usinagem CNC.

Além das etapas de projeto mecânico, houve discussões conjuntas com os times de Mecatrônica e ADS para a definição do motor mais adequado, levando em consideração torque, potência, consumo energético e compatibilidade com a estrutura projetada, principalmente levando em maior consideração o peso. Também foram analisadas as placas eletrônicas disponíveis, buscando a melhor opção para integração com sensores e sistemas de controle. Outro fator importante debatido foi o peso total da bicicleta, pois esse parâmetro influencia diretamente a estabilidade, o consumo de energia e o dimensionamento dos motores.

Até o momento, os resultados indicam que o projeto segue de acordo com o planejamento, com a parte mecânica avançando para a fase de fabricação e com parâmetros técnicos alinhados entre as equipes. Na próxima etapa, será realizada a montagem do protótipo e a integração dos sistemas, permitindo testes de equilíbrio e validação de desempenho.

Protótipo inicial 3D



Fonte: imagem do autor

5 CONCLUSÃO

O projeto da bicicleta de alto equilíbrio encontra-se em sua fase final de desenvolvimento e testes, apresentando resultados positivos até o momento. As etapas de projeto mecânico, definição de componentes e integração entre as equipes de Mecânica, Mecatrônica e ADS têm ocorrido de forma eficiente, garantindo avanços consistentes. A expectativa é que, com a conclusão dos ajustes finais, o protótipo atenda plenamente aos objetivos propostos, consolidando-se como um recurso didático inovador para a instituição.

REFERÊNCIAS

Referências Bibliográficas

1. **Meriam, J. L., & Kraige, L. G.** (2012). *Engineering Mechanics: Dynamics*. Wiley.
Excelente para fundamentos de dinâmica rotacional e momento angular.
2. **Ogata, K.** (2010). *Modern Control Engineering*. Prentice Hall.
Para fundamentos de sistemas de controle e estabilização.
3. **Sidi, M. J.** (1997). *Spacecraft Dynamics and Control: A Practical Engineering Approach*. Cambridge University Press.
Foca no uso de volantes de inércia em satélites e sistemas espaciais.
4. **Franklin, G. F., Powell, J. D., & Emami-Naeini, A.** (2015). *Feedback Control of Dynamic Systems*. Pearson.
Aplicações práticas de controle feedback e estabilidade.
5. **Wood, R.** (2003). *Flywheel Energy Storage*. IEEE Power Engineering Review.
Aborda o uso moderno de volantes para armazenamento de energia.