

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA ESCOLA
TÉCNICA ESTADUAL BENTO QUIRINO ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO
PROFISSIONAL TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA

DAVI TOMÁS ALDUINO COLOMBINI

LUIGI DE LIMA MARANI

PAULO ANTONIO DE SOUZA BELTRÃO MACHADO

BATERIA DE ENERGIA CINÉTICA COM VOLANTE DE INÉRCIA DE EIXO
HORIZONTAL

Orientador(a): Profa. Regina Kawakami

Coorientador(a): Prof. Marcelus Guirardello

CAMPINAS - SP

2025

RESUMO

O presente projeto tem por finalidade o desenvolvimento de um protótipo funcional de um sistema voltado para o armazenamento de energia cinética (KES – *Kinetic Energy Storage*), e a realização uma análise comparativa entre as características estudadas na pesquisa e os resultados de desempenho obtidos. O trabalho tem então por objetivo avaliar essa modalidade de armazenamento utilizando critérios como eficiência energética, durabilidade, viabilidade econômica e impacto ambiental. O sistema KES em desenvolvimento utiliza o princípio de um volante de inércia para realizar o armazenamento da energia na forma de movimento rotacional. Essa estrutura apresenta algumas vantagens comparativas, dentre as quais a maior vida útil, menor degradação e a ausência de componentes químicos tóxicos. De outro modo, baterias químicas convencionais costumam oferecer maior densidade energética, mas apresentam maiores impactos ambientais e riscos de sustentabilidade. O intuito do estudo é então destacar os pontos fortes e as respectivas limitações da tecnologia mecânica de armazenamento energético baseado em volante de inércia, contribuindo deste modo para a discussão de soluções sustentáveis e eficientes para o armazenamento de energia.

Palavras-chave: armazenamento de energia; sustentabilidade; baterias mecânicas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS E OBJETIVOS DA PESQUISA	5
3 METODOLOGIA	5
Pesquisa	6
Protótipo	6
Análise de Resultados	6
4 DESENVOLVIMENTO	7
Funcionamento	7
Materiais e Montagem	7
5 CONCLUSÃO	8
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8

1 INTRODUÇÃO

Em meio à urgência da transição energética, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de baterias sustentáveis. Nesse contexto, a equipe propõe a montagem de um protótipo funcional de um sistema destinado ao armazenamento de energia cinética, fundamentado em materiais sustentáveis, cujo princípio de atuação possa ser aplicado em áreas que demandam rápida descarga e recarga, como instalações industriais e unidades geradoras de energia elétrica. Diante disso, o sistema KES (*Kinect Energy Storage*) apresenta-se como alternativa viável, pois utiliza um volante de inércia para armazenar energia na forma de movimento rotacional. Essa configuração mostra-se compatível com a busca por sustentabilidade, uma vez que oferece vantagens como maior vida útil, menor degradação ao longo do tempo e ausência de componentes químicos tóxicos.

À luz do exposto, o presente estudo tem como objetivo destacar as vantagens e limitações da tecnologia de armazenamento mecânico de energia cinética. Para tal, será utilizado o protótipo desenvolvido como objeto de análise. Esse protótipo será avaliado por meio de critérios como eficiência energética, viabilidade econômica e impacto ambiental, de modo a contribuir para a discussão de soluções sustentáveis e eficazes no campo do armazenamento de energia. Nesse sentido, por meio da criação do protótipo de bateria cinética baseada em volante de inércia, o artigo discorrerá sobre o desempenho e a sustentabilidade dessa modalidade de armazenamento energético, motivado pela crescente necessidade de soluções mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis, inserindo a pesquisa no contexto da busca por alternativas inovadoras.

Adicionalmente, busca-se apresentar os sistemas de armazenamento de energia cinética, que, embora pouco difundidos, são considerados promissores por apresentarem algumas vantagens em relação às modalidades convencionais. Essas vantagens concentram-se, sobretudo, em critérios fundamentais para a sustentabilidade do sistema, como a eficiência operacional e a vida útil desses dispositivos, os quais possuem ciclos virtualmente infinitos de uso em razão da baixa degradação ao longo do tempo. Tais características justificam a necessidade de se explorar a viabilidade técnico-operacional dessa tecnologia.

Dessa forma, espera-se contribuir para o desenvolvimento de soluções alternativas de armazenamento energético, inserindo os sistemas mecânicos de armazenamento de energia no centro do debate acadêmico, ampliando as possibilidades de reconhecimento e investigação por parte da comunidade científica.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS E OBJETIVOS DA PESQUISA

O trabalho baseou-se nas pesquisas acadêmicas disponíveis e nas informações publicadas por empresas atuantes no setor, como disponibilizado nas referências. Tais contribuições despertaram na equipe a consciência da necessidade de desenvolvimento de novas formas de armazenamento energético por sua imensa relevância no atual debate ligado à transição energética. Além disso, o protótipo desenvolvido dá suporte à pesquisa e busca replicar conceitos de outros projetos desenvolvidos e publicados na internet.

Dada a proliferação de fontes intermitentes de geração de energia, tornou-se fundamental o desenvolvimento de sistemas de armazenamento energético mais eficientes para a estabilidade da matriz elétrica moderna. É notório que as baterias químicas são predominantes nos mercados, mas enfrentam desafios ligados à degradação e ao descarte inadequado, o que polui o meio ambiente com resíduos químicos. Em contrapartida, tecnologias mecânicas como o armazenamento por volante de inércia (KES), tem sido estudadas como alternativas sustentáveis (CAMPOS & LUZ, 2023). Embora os sistemas KES apresentem vantagens em termos de vida útil e sustentabilidade, a literatura ainda é limitada quanto à análise de sua eficiência na maior parte das aplicações pensadas, se restringindo à sua descrição e o funcionamento de modelos isolados, sem conexão com nenhuma atividade prática desempenhada pelo protótipo, o que justifica a realização deste estudo (NKOMO, 2024).

Essa limitação deve-se em parte à difusão em larga escala das baterias químicas convencionais, que dominam o mercado de baterias e a indústria, desestimulando assim a busca por novas alternativas. Entretanto, os comprovados impactos ambientais produzidos pelas baterias químicas durante sua produção e descarte (RIBEIRO, 2023) levantam a possibilidade de análise da viabilidade de sistemas mecânicos de armazenamento energético como o armazenamento em volante de inércia.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho fundamenta-se em princípios experimentais e de engenharia, com ênfase no projeto prático voltado ao dimensionamento e à montagem de um sistema KES funcional. O objetivo é parametrizar a eficiência do protótipo e avaliar suas aplicações mais adequadas no contexto dos processos industriais e do armazenamento energético. Paralelamente, busca-se analisar a viabilidade do projeto, destacando suas vantagens e desvantagens.

Desse modo, torna-se possível confrontar os dados de desempenho e aplicação prática do protótipo com as vantagens apresentadas na pesquisa teórica, a partir de critérios

de eficiência e sustentabilidade. A análise final será estruturada com base nos resultados da pesquisa, no desempenho prático do protótipo e nos dados obtidos durante o funcionamento do sistema.

Pesquisa

Para o embasamento teórico do projeto e a compreensão dos conceitos envolvidos em sua execução, foi necessária a realização de uma ampla pesquisa bibliográfica, na qual foram consultadas fontes consideradas confiáveis, incluindo artigos acadêmicos e informações disponibilizadas por empresas atuantes no setor. Destacam-se, nesse contexto, os trabalhos citados nas referências bibliográficas e nos referenciais teóricos.

Considerando a inovação representada pelas baterias de energia cinética, seus fundamentos apresentam-se como desafiadores, uma vez que a presença de pesquisas e estudos na área ainda é limitada. A maior parte das publicações disponíveis é incipiente e pouco desenvolvida, o que evidencia a necessidade de aprofundamento científico sobre a temática. Deste modo, a pesquisa baseou os critérios buscados e esperados para a análise do projeto, além de determinar as vantagens também especuladas para o protótipo, que serão testadas ao longo do presente estudo.

Protótipo

A realização do protótipo envolveu diversas etapas, mobilizando variados conhecimentos técnicos da equipe. As dificuldades de construção, relacionadas à questões como a resistência dos materiais e a capacidade de conservação da energia, exigiram amplos conhecimentos acerca do objeto estudado e impuseram severas restrições à eficiência pretendida, dadas as limitações materiais e técnicas envolvidas em sua confecção. O modelo desenvolvido foi baseado em projetos semelhantes disponíveis na internet.

Análise de Resultados

A análise de resultados constitui a etapa final do estudo, realizada após a conclusão do protótipo. Nessa fase, os dados obtidos na pesquisa teórica serão confrontados com o desempenho prático do projeto, verificado durante o funcionamento do protótipo. Serão destacadas as principais dificuldades encontradas na execução, bem como a presença, ou não, de falhas técnicas significativas em sua estrutura. A partir dessa análise, será possível traçar um panorama sobre a aplicabilidade futura de baterias mecânicas para o armazenamento de energia, estabelecendo suas limitações e condições de uso mais adequadas. Essa etapa metodológica integra os resultados obtidos e fundamenta a conclusão do trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

Funcionamento

O funcionamento dos sistemas de armazenamento de energia cinética com volante de inércia é baseado no princípio da conversibilidade de energia. Os volantes de inércia por sua vez podem ser definidos como dispositivos que armazenam energia cinética e constituem a peça fundamental dessas aplicações. Quando há um sistema com muita potência, o volante é acionado por energia elétrica para rotação em alta velocidade, e a energia elétrica é então convertida em armazenamento de energia mecânica. Como o volante está protegido de atrito e interferências do meio externo, consegue armazenar a energia sob a forma de movimento rotacional. Quando necessário, o volante desacelera e o motor passa a funcionar como um gerador, convertendo a energia cinética do volante em energia elétrica para uso do usuário. Deste modo, o funcionamento do volante ocorre por meio da aceleração e desaceleração do rotor, e da repetição desses processos para o armazenamento e a liberação de energia (HUNTKEY, 2024).

Materiais e Montagem

Dentre os materiais utilizados na confecção do projeto estão componentes como:

- Tubo de metalon, 40x40x1, com 6 metros de comprimento;
- Concreto para preenchimento dos tubos;
- Arames como armadura para o concreto;
- Ímãs;
- Disco de freio;
- Eixo de aço 1045 trefilado, com 1,5 cm de diâmetro;
- Motor elétrico;
- Arduino;
- Relé, sensor óptico e demais componentes de prototipagem.

A montagem foi iniciada através da construção da base metálica, feita através dos tubos de metalon. Os tubos foram cortados com uma serra em 5 partes, 3 com 70 cm de comprimento e 2 com 50 cm de comprimento. Um corte na ponta de cada um foi realizado para que se pudesse efetuar um encaixe que garantisse maior coesão à base, sendo soldado o encaixe dos tubos em sequência. Essa estrutura foi cimentada utilizando uma liga mais viscosa de concreto, o que facilitou a penetração do material dentro dos tubos, adquirindo assim maior estabilidade em um cenário de utilização do volante de inércia.

Após a construção da base e a secagem do concreto, foram afixados os suportes do motor, dos ímãs e dos apoios do eixo à base utilizando tubos de metalon, reunidos com ponto de solda, concreto e ferragens. Foram adicionados ímãs nos apoios conectados à base para que se repelissem e possibilitassem a levitação magnética do eixo. O disco de freio, que desempenha o papel de volante de inércia no sistema também foi posicionado sobre o eixo entre os ímãs junto do rotor do motor. O estator por sua vez foi colocado sob o apoio dos tubos para ficar na mesma altura do eixo e seu rotor.

5 CONCLUSÃO

O estudo dos sistemas de armazenamento de energia cinética demonstra que o modelo *KES (Kinect Energy Storage)* pode oferecer vantagens ambientais e de durabilidade, apesar das limitações significativas como a baixa densidade energética. Ainda assim, possui potencial para algumas aplicações, apontando caminhos para futuras pesquisas na área. Em vista do exposto podemos concluir a necessidade de mais pesquisas que busquem desenvolver e explorar a temática do armazenamento energético em baterias mecânicas, dada a baixa quantidade de trabalhos na área e a limitação das tecnologias disponíveis atualmente. Novos trabalhos devem buscar maximizar eficiência energética dos modelos desenvolvidos, para que assim possamos viabilizar sua aplicação maximizando sua eficiência energética e construindo alternativas para uma transição energética sustentável

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, Éverton G.; **LUZ**, Paulo C.V. SISTEMA MECÂNICO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA (FLYWHEEL). UFSM, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/30572/Final_106.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 2 de Abril de 2025.

HUNTKEY. MECHANICAL ENERGY STORAGE. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.huntkeyenergystorage.com/mechanical-energy-storage/>. Acesso em: 19 de Abril de 2025.

NKOMO, Nkosilathi Zinti. FLYWHEEL ENERGY STORAGE SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS: A REVIEW. Vaal University of Technology, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/380076175_Flywheel_Energy_Storage_Systems_and_Their_Applications_A_Review. Acesso em: 19 de Abril de 2025.

RIBEIRO, Tatiane Lopes. MATERIAIS E IMPACTOS AMBIENTAIS DE BATERIAS E SUPERCAPACITORES EM VEÍCULOS ELÉTRICOS. UNIFESP, 2023.

<https://repositorio.unifesp.br/bitstreams/f38ce5a8-c1da-41e3-bd4a-e973926d5a85/download>. Acesso em: 1 de Setembro de 2025.