

SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA (KERS), SUA EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Alexandre José Soares Pereira¹
Andre Luiz Martins Pires Horta²

Resumo: Este artigo é uma revisão de literatura sobre a evolução e aplicação do sistema de recuperação de energia cinética (KERS) na indústria automobilística. A pesquisa é classificada como descritiva e o estudo tem uma abordagem qualitativa. Este artigo é uma revisão de literatura, sobre a evolução e aplicação do sistema de recuperação de energia cinética na indústria automobilística. O estudo tem por finalidade analisar a evolução e aplicação do sistema de recuperação de energia cinética na indústria automobilística, bem como as tecnologias atuais aplicadas junto ao sistema recuperação de energia cinética para aumentar a eficiência e diminuir o consumo dos motores. Concluindo que atualmente o sistema KERS não atua sozinho, tendo outros sistemas trabalhando em conjunto para uma maior eficiência na recuperação de energia.

Palavras-chave: Sistema de recuperação de energia cinética; KERS; Evolução do KERS.

Abstract: This article is a review of the literature on the evolution and application of the kinetic energy recovery system (KERS) in the automobile industry. The research is specialized as descriptive and the study has a quantitative approach. This article is a review of the literature on the evolution and application of the kinetic energy recovery system in the automobile industry. The study aims to improve the evolution and application of the kinetic energy recovery system in the automobile industry, as well as the current technologies applied to the kinetic energy recovery system to increase efficiency and decrease engine consumption. Concluding that currently the KERS system does not act alone, having other systems working together for greater efficiency in energy recovery.

Keywords: Kinetic energy recovery system; KERS; Evolution of KERS.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda é grande por recursos energéticos, em países que esses recursos são escassos, surgem novas tecnologias para melhorar o uso eficiente de energia.

A indústria automobilística está sempre buscando inovações na área de eficiência energética, criando motores mais eficientes e que precisam de uma

¹ Graduando do curso de Engenharia Mecânica, da Faculdade Ciências da Vida, campus de Sete Lagoas. alexandrejsp@outlook.com

² Doutor em Engenharia Mecânica; Professor do curso de Engenharia, da Faculdade Ciências da Vida. andrepreshorta@gmail.com

quantidade menor de combustíveis fósseis e energia elétrica para seu funcionamento. Na área de eficiência energética, novas tecnologias surgem para minimizar as perdas de energia, tecnologias que aumentam a eficiência energética e melhoram a sustentabilidade dos motores que emitem uma quantidade menor de poluentes.

Conforme Joshi (2017), um mundo onde quase todo o seu combustível está se esgotando, a conservação dos recursos naturais tornou-se uma necessidade, especialmente no campo das tecnologias renováveis.

Uma dessas tecnologias é o sistema de recuperação de energia cinética (KERS) que utiliza recursos mecânicos, elétricos e eletromecânicos, para recuperar a energia cinética que seria desperdiçada durante a frenagem do veículo e devolve a energia para o sistema (motor do carro), fazendo com que os motores têm maior eficiência energética.

Dados os fatos expostos este artigo tem como questão norteadora a seguinte pergunta: Como o sistema de recuperação de energia cinética evoluiu e qual a sua atual aplicação na indústria automobilística?

O estudo justifica – se pela relevância para área de engenharia mecânica pois com dito por Morais (2018), o sistema de recuperação de energia cinética, representa um grande passo para o futuro dos veículos, dessa tecnologia pode surgir novas maneiras de melhorar a eficiência energética do sistema.

Este estudo tem como objetivo geral, expor a importância do sistema de recuperação de energia cinética na indústria automobilística, como ocorre a recuperação da energia e utilização dessa energia para aumentar a economia e eficiência do motor.

Para alcançar o objetivo geral os objetivos específicos são: analisar a evolução do sistema de recuperação de energia cinética como foi sua concepção, quando começou a ser aplicado e sua atual aplicação na indústria automobilística atual, explanar sobre o funcionamento do sistema de recuperação de energia cinética.

A pesquisa é classificada como descritiva. O estudo tem uma abordagem qualitativa. Quanto ao procedimento é uma revisão de literatura visto que foram feitas pesquisas de artigos sobre o tema em sites confiáveis a respeito do tema.

Este Artigo tem como estrutura, introdução, referencial teórico, metodologia, análise de dados, considerações finais e referências.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Evolução do KERS

Segundo Śliwiński (2016), no passado, a maioria dos interesses em termos de acumulação de energia concentrava-se em acumuladores cinéticos. Dispositivos que usam volantes para armazenar energia cinética foram usados em ônibus, bondes e carros híbridos. Em 1946 foi desenvolvido um sistema de acionamento híbrido, composto por motores elétricos e um módulo de volante, permitindo viagens curtas.

Foi utilizado na indústria e no transporte público. O conceito era usar um módulo de volante posicionado centralmente, com um volante de 1,5 te de 1,6 m de diâmetro. O módulo do volante hermético foi preenchido com hidrogênio, para o abaixamento do atrito do ar, permitindo que o volante girasse a uma velocidade de até 3000 rpm.

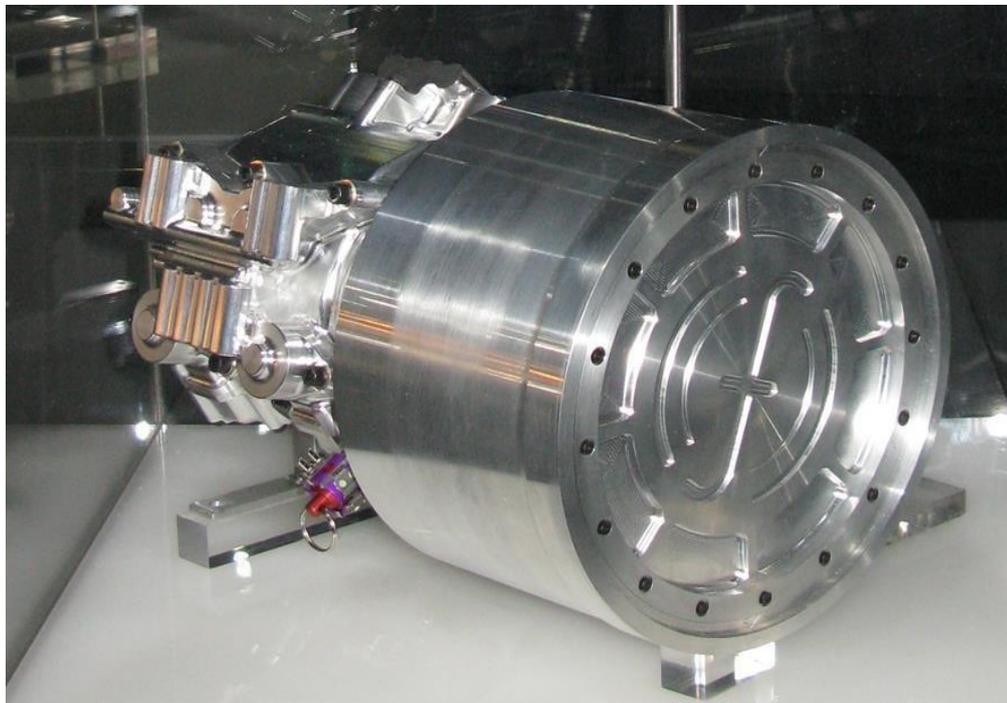
O uso de um módulo de volante para fins de recuperação de energia requer um sistema de controle de trem de força complicado com uma transmissão automática. A razão para isso é a necessidade de garantir uma transferência suave de torque entre o volante do sistema e o eixo de transmissão, tanto na aceleração quanto na frenagem, quando a energia cinética do carro está sendo recuperada. Um exemplo de acionamento híbrido com volante atuando como acumulador cinético e caixa de câmbio automática Śliwiński (2016).

De acordo com Śliwiński (2016), nos anos 70, nos Estados Unidos da América, foram criados vários conceitos de automóveis equipados com acionamentos híbridos com sistemas mecânicos de recuperação de energia. Eles consistiam em motores de combustão interna e acumuladores cinéticos. O uso de um módulo de volante para fins de recuperação de energia requer um sistema de controle de trem de força complicado com uma transmissão automática. A razão para isso é a necessidade de garantir uma transferência suave de torque entre o

volante do sistema e o eixo de transmissão, tanto na aceleração quanto na frenagem, quando a energia cinética do carro está sendo recuperada.

Segundo Śliwiński (2016), atualmente, são usados sistemas cinemáticos semelhantes de recuperação de energia baseada em volante. A diferença, quando comparada com as históricas, está na utilização de avançados sistemas de controle eletrônico, no projeto multi material de alta resistência e na complexidade da construção. Um esquema de um sistema desenvolvido em 2013 para recuperação e armazenamento de energia durante o movimento de frenagem com velocidade rotativa intermitente para, por exemplo, veículos híbridos.

Figura 1 – Flybird Systems KERS



Fonte: Wikimedia Commons (2015)

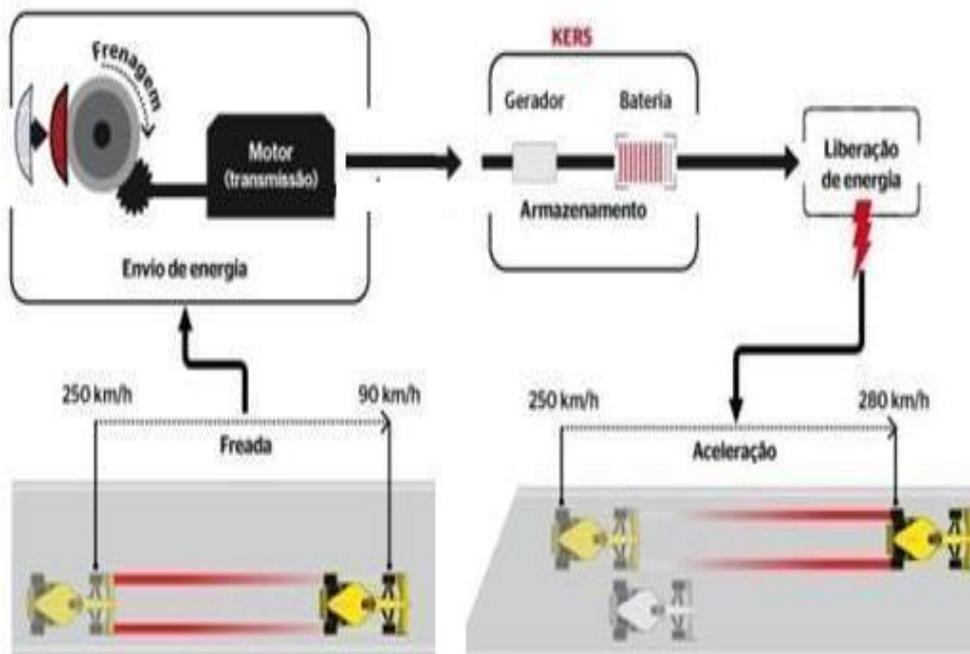
2.2 Princípio de funcionamento do KERS

O KERS como o próprio nome já explica é um sistema de recuperação de energia cinética, essa recuperação de energia segundo Śliwiński (2016), se inicia principalmente durante a fase de frenagem do veículo. Para tanto, deve ser incluído no trem de força o eixo de um sistema de recuperação de energia, na maioria das

vezes conectado a um virabrequim ou a um dos eixos. A primeira fase do processo de recuperação de energia é a conversão da energia do veículo em movimento.

Durante a desaceleração do veículo, dispositivos de recuperação de energia (motor elétrico, volante ou compressor) estão sendo acoplados por meio de transmissão ao sistema de transmissão. Isso resulta, dependendo do sistema, em girar os volantes, realizando trabalhos por motores elétricos ou compressores para converter a energia cinética em elétrica ou hidráulica. A próxima fase é o acúmulo de energia, que é conseguido com o uso de volantes, baterias ou acumuladores hidráulicos. A terceira e última fase do processo de recuperação de energia é a utilização da energia recolhida para acelerar o veículo ou para abastecer os consumidores elétricos do veículo. Por isso significa que a energia, que em condições normais seria perdida no processo de frenagem na forma de calor gerado, está sendo recuperada e utilizada.

Figura 2 – Funcionamento do KERS na frenagem.



Fonte: Ponto Virtual (2011)

2.3 Tipos de KERS

O KERS é dividido em alguns tipos que recuperam e armazenam a energia recuperada de maneiras diferentes. Os tipos são: KERS mecânico, eletro mecânico, eletrônico.

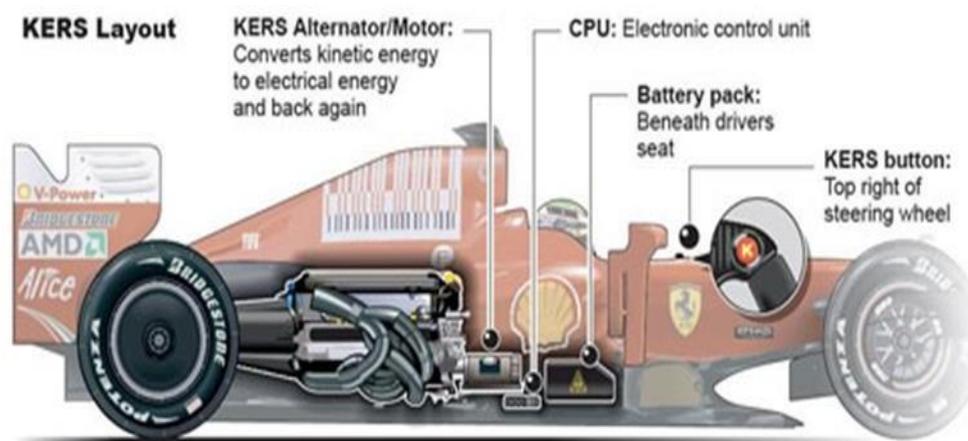
KERS eletrônico funciona quando o carro tem uma desaceleração, neste momento um motor elétrico que funciona como um gerador que está acoplado em uma das extremidades do eixo virabrequim, este motor transforma a energia cinética em energia elétrica, essa energia gerada é armazenada em baterias de lítio (Morais, 2018).

KERS eletromecânico é um grande volante produzido de fibra de carbono é montado em um compartimento à vácuo e ultrapassa os 120 mil giros. Ao frear uma ligação dos semieixos com um gerador, faz com que o volante acelere, fazendo com que partículas magnéticas se conectem com o volante e gerem energia elétrica. Acionado o botão o volante de fibra de carbono opera como um gerador e produz energia elétrica para alimentar o motor auxiliar (Morais, 2018).

KERS Mecânico esse tipo é o mais simples e trabalha com um volante de inércia totalmente mecânico que armazena a energia cinética, porém esse tipo é pouco utilizado por ter um peso mais elevado se comparado aos outros (Morais, 2018).

2.4 Aplicação do KERS

Figura 3 – Layout do KERS em um carro de Formula 1.



Fonte: PitStop (2006)

Segundo Śliwiński (2016), atualmente, os sistemas de recuperação de energia elétrica são os mais utilizados na indústria automotiva. É devido às tendências de desenvolvimento do mundo e ao fato de que a eletrônica desempenha um papel dominante na motorização com o objetivo de aumentar o conforto do usuário. Dispositivos híbridos elétricos, elétricos e células de combustível são usados com mais frequência pelos fabricantes de automóveis. Esses sistemas são frequentemente baseados em motores elétricos acoplados a motores de combustão interna por meio de virabrequins com as baterias colocadas na parte traseira do veículo.

De acordo com Śliwiński (2016), isso permite que o motor elétrico funcione como um "gerador" durante a desaceleração do veículo e um "acionador de partida" durante a aceleração / deslocamento do veículo. A energia armazenada é utilizada automaticamente para alimentar o carro durante a aceleração e os consumidores elétricos durante a parada quando o motor é desligado (através do sistema start-stop). No caso de bateria fraca, o motor de combustão interna, por meio do motor elétrico, alimenta a bateria para garantir sua eficiência adequada. Dentre os sistemas de recuperação de energia elétrica, nem todos os aparelhos utilizam a fase de frenagem do veículo para recuperar energia. Um exemplo de tal sistema é a suspensão eletromagnética de Bose. Este dispositivo converte o movimento alternativo, que acompanha a absorção de choque do veículo durante a viagem por terrenos acidentados, em energia elétrica. Este sistema utiliza a energia obtida para aumentar o conforto do usuário pela estabilização horizontal do veículo. Os resultados dos testes com veículos equipados com suspensão convencional e Bose mostram que o sistema Bose é mais eficaz com o carro apresentando menor inclinação e melhor amortecimento.

No passado como é mencionado por Śliwiński (2016) os sistemas de recuperação de energia cinética eram equipados com volantes de grande peso e grande diâmetro para garantir um momento de inércia adequado. Em 2009, a *Flybrid Systems* projetou um acumulador cinético híbrido para os carros de corrida de Fórmula 1, permitindo que o volante funcionasse nas faixas de velocidade de até 60.000 rpm. Sua construção em aço e fibra de carbono pesava 25 kg e tinha 60 kW. Desde então, a *Flybrid* trabalhou com a Jaguar e a Volvo no desenvolvimento de um sistema confiável para o uso diário. As aplicações do sistema *Flybrid* para

automóveis de passageiros apresentam longa vida e trabalho sem manutenção com o processo automatizado de recuperação e utilização da energia cinética acumulada. Seu design consiste em um volante travado em uma carcaça hermética. Ao criar um vácuo, foi possível minimizar as perdas por atrito.

2.5 Sistema EHCBS

O sistema de freio composto eletro-hidráulico (EHCBS) é citado por Lian-xin Wang (2016), apresenta alta densidade de potência e eficiência de conversão de energia, provou ser adequado para veículos pesados. No entanto, o tamanho e o custo são as desvantagens porque ele precisa de um sistema adicional de vácuo para fornecer a energia necessária. O EHCBS aplicado em ônibus urbanos elétricos híbridos é amplamente investigado e comercializado. Normalmente, sua eficiência é melhorada significativamente com a estratégia de controle correspondente. Pesquisas anteriores mostraram que o projeto dos parâmetros de acordo com as condições reais de aplicação pode melhorar substancialmente a eficiência de recuperação de energia. Mas o projeto da estratégia de controle é difícil porque inclui uma variedade de componentes não lineares. Para o EHCBS, existem três índices para avaliar seu desempenho. Primeiro, a eficiência de recuperação de energia deve ser aceitável; caso contrário, o sistema não tem sentido.

Em segundo lugar, o recurso não linear e dinâmico deve ser aceitável e controlável, caso contrário, a variável de controle não é clara o suficiente e o efeito de controle não é ideal. Terceiro, a estrutura não deve ser complicada do que o sistema tradicional para que várias operações necessárias ainda possam ser realizadas normalmente. Assim, as características dinâmicas do sistema devem ser adquiridas e os fatores-chave que afetam a eficiência energética são claramente um pré-requisito para controlar o EHCBS eficiente. Além dos métodos tradicionais acima mencionados, a eficiência de recuperação de energia também aumentará se a energia de frenagem regenerativa puder ser totalmente utilizada, de modo a fornecer a energia necessária para o outro sistema e a fonte de energia da placa puder ser reduzida, Lian-xin Wang (2016).

Desta forma, o EHCBS teria uma estrutura simplificada, uma nova melhoria em tamanho e custo, e teria a mesma ou maior eficiência. Nesta pesquisa, um novo

EHCBS é proposto que poderia aproveitar totalmente a energia recuperada e tem uma estrutura de sistema bastante simplificada. O sistema de frenagem regenerativa hidráulica, o sistema de frenagem eletro-hidráulico e o módulo de coordenadas de potência foram considerados como os subsistemas principais. O modelo matemático correspondente, o método de controle, as características dinâmicas, os principais fatores e a análise de eficiência são investigados posteriormente, com o objetivo de fornecer diretrizes analíticas e experimentais para o método de controle de alto desempenho de novos EHCBS, Lian-xin Wang (2016).

2.6 Sistema de frenagem combinada

A configuração EHCBS baseada na energia de frenagem regenerativa é mostrada na. O sistema inclui três subsistemas dominantes: sistema de frenagem regenerativa hidráulica, sistema de frenagem eletro-hidráulica e módulo de ajuste de potência. Os dispositivos principais consistem em uma bomba hidráulica, válvulas de alívio proporcionais, válvulas direcionais, válvulas de estrangulamento, acumulador hidráulico e sensores. Usando este esquema, podemos projetar um sistema de recuperação de energia mais eficiente e simples, onde as perdas de energia podem ser recuperadas na forma de fluido híbrido e reutilizadas para alimentar os outros sistemas, Lian-xin Wang (2016).

Sistema de travagem regenerativa hidráulica durante o modo de frenagem, a energia cinética é recuperada no acumulador de frenagem regenerativa de alta pressão pela técnica de regeneração hidráulica. Quando necessário, a energia hidráulica pode fluir para uma bomba hidráulica / unidade motor-motor para conduzir o veículo. Além disso, a energia de recuperação também pode ser usada para carregar o acumulador de frenagem eletro-hidráulica de baixa pressão e alimentar os outros sistemas. Para melhorar a eficiência da unidade secundária, a bomba / motores hidráulicos de alta eficiência foram empregados. Sistema de freio eletro-hidráulico os principais componentes do sistema de frenagem eletro-hidráulica são acumuladores de frenagem eletro-hidráulica de baixa pressão, válvula de freio eletro-hidráulica e o controlador do regulador de potência, Lian-xin Wang (2016).

Figura 4 – Sistema de freio regenerativo



Fonte: Auto Esporte (2021)

O acumulador de frenagem eletro-hidráulica fornece a energia correspondente ao sistema de frenagem através da válvula de freio eletro-hidráulica de acordo com o sinal de tensão convertido a partir do ângulo do pedal do freio. Enquanto isso, o acumulador de frenagem eletro-hidráulica pode ser carregado pelo acumulador de frenagem regenerativa quando sua pressão não é suficiente e pode ser controlado com o módulo de potência coordenada. Módulo de coordenada de potência O módulo de coordenadas de energia consiste em 4 válvulas direcionais eletromagnéticas A de duas portas de duas posições, B, C e D. O controlador pode detectar as pressões de entrada / saída do fluxo no acumulador de frenagem regenerativa e no acumulador de frenagem eletro-hidráulica. Em seguida, a válvula direcional eletromagnética é alimentada de acordo com o algoritmo de controle correspondente, Lian-xin Wang (2016).

3. METODOLOGIA

Este artigo é uma revisão de literatura, sobre a evolução e aplicação do sistema de recuperação de energia cinética na indústria automobilística. O estudo

tem por finalidade analisar a evolução e aplicação do sistema de recuperação de energia cinética na indústria automobilística, bem como as tecnologias atuais aplicadas junto ao sistema recuperação de energia cinética para aumentar a eficiência e diminuir o consumo dos motores.

A pesquisa é classificada como descritiva, a pesquisa de sua bibliografia foi realizada em plataformas e sites confiáveis como Google acadêmico, Scielo, *Nonlinear Engineering*, *International Journal of Science Technology and Management*, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. Foram consultados artigos de (2016 à 2021). A pesquisa é de caráter qualitativa e seus resultados são baseados nos dados coletados dos artigos usados no referencial teórico.

4. ANÁLISE DE DADOS

Atualmente temos outros sistemas trabalhando em conjunto com o sistema de recuperação de energia cinética, um deles é o sistema recuperação de energia elétrica que como dito por Śliwiński (2016), os sistemas de recuperação de energia elétrica sistemas são frequentemente baseados em motores elétricos acoplados a motores de combustão interna por meio de virabrequins com as baterias colocadas na parte traseira do veículo. Isso permite que o motor elétrico funcione como um "gerador" durante a desaceleração do veículo e um "acionador de partida" durante a aceleração/deslocamento do veículo.

A energia armazenada é utilizada automaticamente para alimentar o carro durante a aceleração e os consumidores elétricos durante a parada quando o motor é desligado (por meio do sistema start-stop). No caso de bateria fraca, o motor de combustão interna, através do motor elétrico, alimenta a bateria para garantir sua eficiência adequada. Dentre os sistemas de recuperação de energia elétrica, nem todos os aparelhos utilizam a fase de frenagem do veículo para recuperar energia. Um exemplo de tal sistema é a suspensão eletromagnética da Bose. Este dispositivo converte o movimento recíproco, que acompanha a absorção de choque do veículo durante a viagem por terrenos acidentados, em energia elétrica. Este sistema utiliza a energia obtida para aumentar o conforto do usuário pela estabilização horizontal do veículo. Os resultados dos testes com veículos equipados com suspensão

convencional e Bose mostram que o sistema Bose é mais eficaz com o carro apresentando menor inclinação e melhor amortecimento.

A vantagem da construção de um sistema de recuperação de energia elétrica de acordo com Śliwiński (2016) ele é confiável e dispensa manutenção. Quando em uso, reduz o desgaste dos componentes do sistema de frenagem convencional. Os testes realizados em um carro híbrido-elétrico resultaram em uma taxa de recuperação de energia que variou de cerca de 16% a 45% dependendo do grau de utilização do sistema de frenagem convencional. Os sistemas de recuperação de energia elétrica também são relativamente seguros com proteções de corrente instaladas e baterias seladas. No entanto, deve-se observar que há um perigo potencial das baterias para a saúde do usuário e para o meio ambiente, especialmente durante acidentes rodoviários. A vida útil das baterias ainda depende de a continuidade do uso do veículo pelo usuário. A falta de uso regular do veículo acarreta diminuição da potência e eficiência da bateria. A vida útil de uma bateria varia de 3 a 10 anos.

É no passado que os sistemas de recuperação de energia cinética eram equipados com volantes de grande peso e grande diâmetro para garantir um momento de inércia adequado. Em 2009, a *Flybrid Systems* projetou um acumulador cinético híbrido para os carros de corrida de Fórmula 1, permitindo que o volante funcionasse nas faixas de velocidade de até 60.000 rpm. Sua construção em aço e fibra de carbono pesava 25 kg e tinha 60 kW. Desde então, a *Flybrid* trabalhou com a Jaguar e a Volvo no desenvolvimento de um sistema confiável para o uso diário.

As aplicações do sistema *Flybrid* para automóveis de passageiros apresentam longa vida e trabalho sem manutenção com o processo automatizado de recuperação e utilização da energia cinética acumulada. Seu design consiste em um volante travado em uma carcaça hermética. Ao criar um vácuo, foi possível minimizar as perdas por atrito. A vantagem da construção do sistema de recuperação de energia cinética apresentada é o seu pequeno tamanho e peso. Os acumuladores cinéticos têm um ciclo de vida mais longo, em relação aos dispositivos elétricos, devido à ausência do impacto negativo das baixas temperaturas em sua vida útil. O processo de produção e descarte de tal sistema não é tão potencialmente prejudicial ao meio ambiente quanto o de um sistema elétrico, que inclui a necessidade de utilização de eletrólitos para baterias.

A desvantagem dos sistemas de recuperação de energia cinética baseados em volantes, é a necessidade de garantir altas velocidades de rotação de sua unidade de trabalho. Representa uma ameaça à saúde do usuário e transeuntes, no caso de danos e desprendimento de seus componentes. Nos anos 90, problemas de segurança causaram o fechamento de um projeto de carro de corrida híbrido da Chrysler, de codinome "*Patriot*". Seu sistema de acumulador cinético incluía um volante de 61 kg, girando a até 58.000 rpm.

A recuperação da energia cinética de um veículo motorizado, como o método mais desenvolvido para reduzir o consumo de combustível, atrai a atenção de fabricantes e usuários de veículos, Śliwiński (2016).

Contemporaneamente, muitos fabricantes de automóveis usam acionamentos elétricos híbridos, que recuperam energia durante a fase de frenagem de um veículo e a utilizam para fins de aceleração ou acionamento de consumidores elétricos. Sistemas de recuperação de energia cinética, por exemplo, usar volantes como meio de armazenamento de energia atrai pouco interesse. Requer pouco tempo para armazenar energia cinética e é seguro, quando comparado aos acumuladores de energia cinética que utilizam volantes como meio de armazenamento de energia cinética. O uso de sistemas cinético e elétrico lado a lado para reduzir o consumo de combustível e, assim, diminuir as emissões de substâncias tóxicas e nocivas na atmosfera parece muito promissor, Śliwiński (2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria automobilista atualmente utiliza sistemas que recuperam a energia que seria desperdiçada durante a frenagem do veículo, através de sistemas elétricos híbridos. O sistema de recuperação de energia cinética (KERS), é usado em conjunto com outros sistemas que melhoram sua eficiência de recuperação de energia.

Atualmente a indústria automobilista tem investido em novas maneiras de implantar o KERS de maneira mais acessível ao consumidor final, utilizando de técnicas inovadoras para a recuperação da energia cinética.

A formula 1 começou a usar o sistema de recuperação de energia cinética a partir de 2009 quando a energia recuperada durante a frenagem do veículo era armazenada e disponibilizada ao piloto através de um botão. O uso do KERS tem se mostrado bastante promissor, sendo usado com outros sistemas que auxiliam na recuperação da energia cinética, proporcionando uma melhor eficiência de combustível em veículos híbridos que utilizam essa tecnologia e contribuindo com uma menor emissão de poluentes.

Este Artigo é uma revisão de literatura sobre a evolução e aplicação na indústria automobilística do sistema de recuperação de energia cinética. Este estudo tem uma abordagem qualitativa.

REFERENCIAS

AFEWORK, Bethel *et al.* Regenerative braking. **Energi Education**, [S. l.], p. 1-2, 4 jun. 2018. Disponível em: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Regenerative_braking>. Acesso em: 9 set. 2020.

AKSU, Umut Aksu; HALICIOGLU, Recep Halicioglu. A REVIEW STUDY ON ENERGY HARVESTING SYSTEMS FOR VEHICLES. **Research Gate**, [S. l.], ano 2018, p. 1-9, 1 dez. 2018. DOI <https://doi.org/10.31803/tg-20180210153816>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329417802_A_review_study_on_energy_harvesting_systems_for_vehicles>. Acesso em: 8 set. 2020.

Amiryar, M. E. and Pullen, K. R. (2017). A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies and Their Applications. **Applied Sciences**, **7(3)**, p. 286. DOI 10.3390/app7030286. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/7/3/286>>. Acesso em: 7 set. 2020.

BHAVSAR, Aditya; KOTHARI, Dhaval; AHIRE, Abhijeet. KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM. **International Journal of Science Technology and Management**, [S. l.], ano 2016, p. 300-322, 9 set. 2016. Disponível em: <http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1475222340_P300-322.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

BORETTI, Albert. Energy flow of a 2018 FIA F1 racing car and proposed changes to the power train rules. **Nonlinear Engineering**, [S. l.], ano 2018, v. 9, n. 1, p. 28-34, 1 jul. 2018. DOI 10.1515/nleng-2018-0171. Disponível em: <<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019NLE....9...28B/abstract>>. Acesso em: 8 set. 2020.

BOTTIGLIONE, Francesco; MANTRIOTA, Giacomo. Mechanical CVU for automotive KERS. **Recent Researches in Environmental and Geological Sciences**, [S. l.], ano 2018, p. 1-6, 1 out. 2018. Disponível em: <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Kos/WEGECEM/WEGECEM-59.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2020.

BRAVO, Rafael Rivelino da Silva. **SISTEMA HIDRÁULICO-PNEUMÁTICO DE FRENAGEM REGENERATIVA E HIBRIDIZAÇÃO DE VEÍCULOS COMERCIAIS**. Orientador: Prof. Dr. Victor Juliano De Negri. 2017. 218 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017.

CARLIN, Steven. **An Analysis of Kinetic Energy Recovery Systems and their potential for contemporary Internal Combustion Engine powered vehicles**. 2015. 149 p. Dissertação (Bacharelado em Engenharia) - Faculty of Engineering and Surveying, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://eprints.usq.edu.au/29183/1/Carlin_S_Malpress.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, v. 2, 2018

GONÇALVES, Me. Jonas Rodrigo. COMO FAZER UM PROJETO DE PESQUISA DE UM ARTIGO DE REVISÃO DE LITERATURA. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, [S. l.], ano 2019, v. 2, n. 5, p. 2-28, 10 nov. 2019.

GONG, Bian *et al.* The ride comfort and energy-regenerative characteristics analysis of hydraulic-electricity energy regenerative suspension. **Journal of Vibroengineering**, [S. l.], ano 2015, v. 18, n. 3, p. 1-14, 15 maio 2015. DOI <https://doi.org/10.21595/jve.2016.16746>. Disponível em: <<https://www.jvejournal.com/article/16746>>. Acesso em: 9 set. 2020.

GUNATILAKE, W. A. D. N. *et al.* DESIGN AND DEVELOPMENT OF KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM FOR MOTOR VEHICLES. **International Conference on Engineering and Technology**, [S. l.], ano 2016, p. 1-17, 1 dez. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327237107_Design_and_Development_of_Kinetic_Energy_Recovery_System_for_Motor_Vehicles>. Acesso em: 7 set. 2020.

JOSHI, Mayank Chandra *et al.* Kinetic Energy Recovery System (KERS). **International Journal of Engineering and Technical Research**, [S. l.], ano 2017, v. 7, n. 3, p. 33-35, 1 mar. 2017. Disponível em: <encurtador.com.br/isvQX>. Acesso em: 7 set. 2020.

KUMAR, P. Suresh Kumar *et al.* Modification of Existing Regenerative Braking System for Electric Vehicle. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, [S. l.], ano 2019, p. 1-8, 1 set. 2019. Disponível em: <<https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i11/K15120981119.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2020.

LI, Jiansong Li; ZHAO, Jiyun Zhao; ZHANG, Xiaochun Zhang. A Novel Energy Recovery System Integrating Flywheel and Flow Regeneration for a Hydraulic Excavator Boom System. **Energies**, [S. l.], ano 2020, p. 1-25, 1 jan. 2020. DOI 10.3390/en13020315. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338489818_A_Novel_Energy_Recovery_

System_Integrating_Flywheel_and_Flow_Regeneration_for_a_Hydraulic_Excavator_Boom_System>. Acesso em: 7 set. 2020.

LI, Shengqin; YU, Bo; FENG, Xinyuan. Research on braking energy recovery strategy of electric vehicle based on ECE regulation and I curve. **SCIENCE PROGRESS**, [S. l.], ano 2019, p. 1-17, 30 set. 2019. DOI <https://doi.org/10.1177/0036850419877762>. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0036850419877762>>. Acesso em: 8 set. 2020.

MA, Bin Ma *et al.* Investigation of energy efficiency for electro-hydraulic composite braking system which is based on the regenerated energy. **Advances in Mechanical Engineering**, [S. l.], ano 2016, p. 1-13, 5 set. 2016. DOI <https://doi.org/10.1177/1687814016666449>. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814016666449>>. Acesso em: 7 set. 2020.

MORAIS, Frederico Favero de. **SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA**. Orientador: Vanessa Dias. 2018. 31 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Unopar de Londrina, [S. l.], 2018.

PAIVA, Marcus Vinícius de. **SUPERCAPACITORES COMO OPÇÃO NO CONTROLE DE TENSÃO E REAPROVEITAMENTO DE ENERGIA PROVENIENTE DA FRENAGEM REGENERATIVA DE TRENS METROPOLITANOS**. Orientador: Prof. Dr. Leonidas Chaves de Resende. 2019. 104 p. Dissertação (PÓSGRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI, [S. l.], 2019.

PIERONI, Thiago Pieroni *et al.* APLICAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PARA MELHORIA DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA. **XXIV SNTPEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, [S. l.], ano 2017, p. 1-9, 1 jul. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318447558_APLICACAO_DE_DISPOSITIVOS_DE_ARMAZENAMENTO_DE_ENERGIA_PARA_MELHORIA_DA_OPERACAO_DE_SISTEMAS_ELETRICOS_DE_POTENCIA>. Acesso em: 8 set. 2020.

RAJU, P.veera *et al.* DESIGN AND FABRICATION OF KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM THROUGH MECHANICAL BRAKES. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, [S. l.], ano 2020, p. 1-6, 1 mar. 2020. Disponível em: <<http://www.jetir.org/papers/JETIR2003292.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2020.

RAO, D. Mojeswara Rao. KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM IN BICYCLE. **International Journal of Engineering Science and Technology**, [S. l.], ano 2017, v. 8, n. 5, p. 1-9, 1 maio 2017. Disponível em: <http://www.iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJMET/VOLUME_8_ISSUE_5/IJMET_08_05_012.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

RODRIGUES, Gabriel Sales Lins. **Controle, gerenciamento e recuperação de energia em veículos a combustão interna**. Orientador: Alexandre Cunha Oliveira, D.Sc. 2019. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2019.

ROGEIRO, Henrique João Duarte Neves. **Sistema de Energy Harvesting para aplicação em veículos terrestres**. 2017. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletromecânica) - UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR, [S. l.], 2017.

SARDAR, Argya; DEY, Rakesh Kumar; MUTTANA, Suresh Babu. A DEEP DIVE INTO KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEMS – PART II. **Auto Tech Review**, [S. l.], ano 2015, v. 4, n. 7, p. 20-24, 14 jul. 2015. DOI <https://doi.org/10.1365/s40112-015-0942-5>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1365/s40112-015-0942-5#citeas>>. Acesso em: 7 set. 2020.

SILVA, Abdinel Rodrigues da *et al.* Sistema Regenerativo de Energia Elétrica. **Centro Universitário ENIAC**, [S. l.], ano 2020, p. 47-50, 1 fev. 2020. Disponível em: <<https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/download/682/684>>. Acesso em: 8 set. 2020.

SHARMA, Mragank *et al.* Design and Fabrication of Kinetic Energy Recovery System-KERS in Bicycle. **International Journal of Engineering Science and Computing**, [S. l.], ano 2016, p. 5045-5046, 1 maio 2016. DOI 10.4010/2016.1244. Disponível em: <encurtador.com.br/iHOW9>. Acesso em: 8 set. 2020.

ŚLIWIŃSKI, C. Kinetic energy recovery systems in motor vehicles. **Scientific Conference on Automotive Vehicles and Combustion Engines**, [S. l.], ano 2016, p. 1-11, 1 jun. 2016. DOI 10.1088/1757-899X/148/1/012056. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/148/1/012056>>. Acesso em: 8 set. 2020.

SOPAN, Kawade Maleshwar *et al.* Kinetic Energy Recovery System. **International Research Journal of Engineering and Technology**, [S. l.], ano 2018, p. 1-4, 1 fev. 2018. Disponível em: <encurtador.com.br/rIJPR>. Acesso em: 7 set. 2020.

UTSAV M, Dholakiya Utsav M *et al.* Kinetic Energy Recovery System. **International Journal of Engineering Science and Technology**, [S. l.], ano 2015, v. 3, n. 4, p. 1-6, 5 nov. 2015. Disponível em: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1504177.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

V, Jivkov; D, Draganov. The Kinetic Energy Storage as an Energy Buffer for Electric Vehicles. **Scientific Conference on Automotive Vehicles and Combustion Engines**, [S. l.], ano 2017, p. 1-11, 1 maio 2017. DOI 10.4172/2167-7670.1000165. Disponível em: <<https://www.longdom.org/open-access/the-kinetic-energy-storage-as-an-energy-buffer-for-electric-vehicles-2167-7670-1000165.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2020.

WANI, Kashif. SUSPENSION BASED KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM. **International Journal of Engineering Science and Technology**, [S. l.], ano 2016, v. 7, n. 6, p. 1-16, 1 dez. 2016. Disponível em:

<https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJMET_07_06_016-2/IJMET_07_06_016-2.pdf>. Acesso em: 7 set. 2020.

WICKI, Samuel; HANSEN, Erik G. Clean energy storage technology in the making: An innovation systems perspective on flywheel energy storage. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], p. 1-14, 20 set. 2017. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.05.132. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5726083/>>. Acesso em: 9 set. 2020.

XIANG WEN, Matthew Toh; KUM TIEN, Douglas Tong. Analysis of a Hybrid Mechanical Regenerative Braking System. **International Engineering Research Conference**, [S. l.], ano 2018, v. 152, p. 1-15, 26 fev. 2018. DOI <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815202011>. Disponível em: <https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/11/mateconf_eureca2018_02011/mateconf_eureca2018_02011.html>. Acesso em: 7 set. 2020.

XIONG, Huiyuan; ZHU, Xionglai; ZHANG, Ronghui. Energy Recovery Strategy Numerical Simulation for Dual Axle Drive Pure Electric Vehicle Based on Motor Loss Model and Big Data Calculation. **Hindawi**, [S. l.], ano 2018, p. 1-14, 26 ago. 2018. DOI <https://doi.org/10.1155/2018/4071743>. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/complexity/2018/4071743/>>. Acesso em: 7 set. 2020.

XU, Lei; HE, Xiaohui; SHEN, Xinmin. Improving Energy Recovery Rate of the Regenerative Braking System by Optimization of Influencing Factors. **Applied Sciences**, [S. l.], ano 2019, p. 1-19, 6 set. 2019. DOI 10.3390/app9183807. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335767661_Improving_Energy_Recovery_Rate_of_the_Regenerative_Braking_System_by_Optimization_of_Influencing_Factors>. Acesso em: 7 set. 2020.

XU, Zhi-qiang. Research on Vehicle Braking Energy Recovery System and Energy Recovery Calculation. **Atlantis Press**, [S. l.], ano 2016, p. 33-36, 1 out. 2016. DOI <https://doi.org/10.2991/iccse-16.2016.7>. Disponível em: <<https://www.atlantispress.com/proceedings/iccse-16/25862077>>. Acesso em: 7 set. 2020.