

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC DE SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Maycon Silva Azevedo

Rafael Guarnieri

Vitor Lopes Boccato

SISTEMA DE SUSPENSÃO COM REGENERAÇÃO DE ENERGIA

Santo André

2024

Maycon Silva Azevedo

Rafael Guarnieri

Vitor Lopes Boccato

SISTEMA DE SUSPENSÃO COM REGENERAÇÃO DE ENERGIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Tecnólogo em Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André orientado pelo Prof. MSc. Adriano Ribolla como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

FOLHA DE APROVAÇÃO



Faculdade de Tecnologia de Santo André

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 de junho de 2024.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“SISTEMA DE SUSPENSÃO COM REGENERAÇÃO DE
ENERGIA” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. FERNANDO GARUP DALBO _____

MEMBROS:

PROF. CLEBER WILLIAN GOMES _____

PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO _____

ALUNOS:

MAYCON SILVA AZEVEDO _____

RAFAEL GUARNIERI _____

VITOR LOPES BOCCATO _____

As nossas famílias, professores e colegas
de sala dedicamos nosso trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, desejamos expressar nossa gratidão a Deus por nos conceder saúde e a determinação para ultrapassar todos os limites que achávamos que tínhamos.

À universidade, incluindo todo seu corpo docente e direção, gostaríamos de agradecer pelo apoio constante que nos permitiu desfrutar de um curso de alta qualidade em um ambiente agradável, onde vivemos experiências inesquecíveis e conhecemos amigos que iremos levar por toda a vida.

Nosso orientador, o Prof. MSc. Adriano Ribolla, merece reconhecimento especial por nos apoiar com a ideia deste projeto, nossas pesquisas e desenvolvimento, sempre nos incentivando a concluir o trabalho com capricho e excelência.

Aos professores que nos ensinaram, não apenas transmitindo conhecimento, mas também moldando nosso caráter e profissionalismo durante nossa formação, expressamos nossa profunda gratidão.

À nossa família, agradecemos por estarem ao nosso lado desde o início do curso e apoiando-nos ao longo dessa jornada inteira.

“Os únicos limites das nossas realizações de amanhã são as nossas dúvidas e hesitações de hoje.”

Roosevelt, Franklin.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo pesquisar e desenvolver um sistema de regeneração de energia movido por meio da suspensão do veículo, dessa forma as irregularidades dos pavimentos são convertidas em energia, onde pode-se aumentar a eficiência diminuindo perda de energia, este sistema pode atuar desde veículos leves até pesados, o trabalho parte do conceito da Lei de Faraday que diz: Quando há a variação de campo magnético em um condutor, se induz uma corrente neste condutor. Baseado nisso foi seguida uma linha de pesquisa que usa um dínamo como gerador, ligado a um sistema de transmissão que converte o movimento linear da suspensão em um movimento angular acoplado ao gerador, desta forma o sistema de conversão é ligado a suspensão do veículo por cabos de aço deixando o longe da sujeira, diminuindo a frequência de manutenção e aumentando a vida útil, a energia gerada é retificada e tratada por um circuito, onde se obtiveram resultados positivos onde em um caso com em média de 130 rpms no dínamo foi conseguido 14,7 Volts, ou seja, tensão suficiente para se carregar uma bateria veicular.

Palavras-chave: Suspensão. Conversão. Eficiência. Energia.

ABSTRACT

This work aims to research and develop an energy regeneration system driven by the vehicle's suspension. In this way, the irregularities of the pavements are converted into energy, increasing efficiency and reducing energy loss. This system can operate from light to heavy vehicles. The work is based on the concept of Faraday's Law, which states: When there is a variation in the magnetic field in a conductor, a current is induced in this conductor. Based on this, a line of research was followed that uses a dynamo as a generator, connected to a transmission system that converts the linear movement of the suspension into an angular movement coupled to the generator. In this way, the conversion system is connected to the vehicle suspension by steel cables, keeping it away from dirt, reducing the frequency of maintenance, and increasing its lifespan. The generated energy is rectified and processed by a circuit, where positive results were obtained. In one case, with an average of 130 rpm in the dynamo, 14.7 volts were achieved, which is sufficient voltage to charge a vehicle battery.

Keywords: Suspension. Conversion. Efficiency. Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Carroça com suspensão por feixes de molas elípticas.....	21
Figura 02 – Modelo de Suspensão Mcpherson.....	22
Figura 03 – Forças e movimentos realizados pelo pneu.....	23
Figura 04 – Tipos de Amortecedores.....	24
Figura 05 – Carregamento de baterias de um carro elétrico.....	25
Figura 06 – Pilha voltaica de Volta.....	26
Figura 07 – Processo de Carga Bateria Lítio-Íon.....	27
Figura 08 – Processo de Descarga Bateria Lítio-Íon.....	28
Figura 09 – Tipos de Motores Híbridos.....	29
Figura 10 – Geração de tensão por um sistema de bobina e ímã.....	30
Figura 11 – Protótipo de um sistema de suspensão com bobina e ímã.....	31
Figura 12 – Protótipo de suspensão regenerativa com pinhão e cremalheira.....	33
Figura 13 – Componentes que compõe suspensão regenerativa com pinhão e cremalheira.....	34
Figura 14 – Modelo alternativo de suspensão regenerativa com pinhão e cremalheira.....	34
Figura 15 – Gerador Oscilo-Dinâmico.....	36
Figura 16 – Configuração básica para captação de energia através de vigas piezoelétricas em balanço.....	37
Figura 17 – Tipos de geradores piezoelétricos unimorfo e bimorfo.....	38
Figura 18 – Aparato experimental Piezoelástico.....	39
Figura 19 – Arranjo vertical onde há atração na parte superior e repulsão na parte inferior.....	39
Figura 20 – Variação da tensão elétrica e da velocidade através do tempo para uma frequência angular de 0,7 rad/s.....	40
Figura 21 – Variação da tensão elétrica e da velocidade através do tempo para uma frequência angular de 1,0 rad/s.....	40
Figura 22 – Sistema de Suspensão hidráulica regenerativa proposto pela College of Instrumentation & Electrical Engineering.....	43
Figura 23 – Protótipo de um sistema de suspensão hidráulica regenerativa.....	45
Figura 24 – Modelo de circuito fonte com filtro e regulador.....	53
Figura 25 – Desenho do protótipo de regeneração.....	54

Figura 26 – Protótipo do sistema em vista explodida.....	55
Figura 27 – Protótipo do sistema em vista lateral.....	55
Figura 28 – Pré-Montagem do protótipo.....	56
Figura 29 – Montagem inicial do protótipo.....	57
Figura 30 – Montagem mecânica do Sistema de Suspensão com Regeneração de Energia.....	57
Figura 31 – Pilar de suporte com mancal.....	58
Figura 32 – Alavanca de teste prático.....	58
Figura 33 – Torno mecânico Manrod MR-302.....	59
Figura 34 – Alavanca fixada para teste.....	59
Figura 35 – Teste do Dínamo com 70 rpm.....	60
Figura 36 – Teste do Dínamo com 115 rpm.....	60
Figura 37 – Gráfico de Tensão x RPM.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Geração de energia pelos diferentes tipos de veículos.....	44
Tabela 02 – Redução do consumo de combustível por tipo de estrada.....	45
Tabela 03 – Lista de materiais e componentes utilizados.....	54
Tabela 04 – Graus por minuto = rpm * 360	64
Tabela 05 – Oscilação necessária para atingir 130 rpm.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fem Força eletromotriz;

KERS Kinetic Energy Recovery System (Sistema de recuperação de energia cinética);

Li+ Íons de Lítio;

PUB Piezoelectric Unimorph Beam (Viga Unimorfo Piezoelétrico);

BCB Bimorph Cantilever Beam (Viga Bimorfo Cantilever);

MTS Material Testing System (Sistema de Teste de Materiais);

LISTA DE SÍMBOLO

m = Massa [g];

k = Constante elástica da mola do sistema de amortecimento [N/m];

b = Coeficiente de amortecimento [kg/s];

x = Posição de referência do cálculo [m];

t = Tempo [s];

F = Força externa aplicada [N];

ω = Frequência angular da oscilação [rad/s];

γ = Taxa de decréscimo da energia média [J/s];

\mathcal{E} = Força Eletromotriz [V];

ϕ = Fluxo magnético [Wb];

B = Módulo do vetor campo magnético [T];

A = Área da espira perpendicular ao campo;

Θ = Ângulo entre o vetor campo magnético e o vetor normal à espira [rad];

N = Número de espiras da bobina;

V = Tensão induzida [V];

R = Resistência total da bobina [Ω];

I = Corrente elétrica induzida [A].

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
1.3	MOTIVAÇÃO.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	METODOLOGIA.....	18
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.2	MODELAGEM TEÓRICA DO PROJETO.....	18
2.3	CONSTRUÇÃO E PROTOTIPAGEM	18
2.4	TESTES PRÁTICOS.....	18
2.5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	19
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	SISTEMA DE SUSPENSÃO.....	20
3.2	AMORTECEDORES.....	23
3.2.1	Amortecedor bitubo.....	24
3.2.2	Amortecedor monotubo.....	25
3.3	BATERIAS E CARREGAMENTO.....	25
3.4	MOTORES HÍBRIDOS.....	28
3.5	Suspensões Regenerativas.....	30
3.5.1	SISTEMA ELETROMAGNÉTICOS DE AMORTECEDORES REGENERATIVOS.....	30
3.5.1.1	Geração de Energia.....	31
3.5.2	AMORTECEDOR REGENERATIVO COM PINHÃO E CREMALHEIRA.....	32
3.5.2.1	Geração de Energia.....	33
3.5.2.2	Eficiência e Potencial de Melhoria.....	35
3.5.2.3	Resultados.....	35
3.5.3	SUSPENSÃO REGENERATIVA COM PIEZOELÉTRICOS.....	37
3.5.3.1	Geração de energia.....	41
3.5.3.2	Resultados.....	42
3.5.4	SUSPENSÃO HIDRÁULICA REGENERATIVA.....	42
3.5.4.1	Geração de energia.....	42

3.5.4.2 Resultados.....	44
3.6 MODELAGEM MATEMÁTICA TEÓRICA.....	46
3.6.1 MODELAGEM DO MOVIMENTO HARMÔNICO.....	46
3.6.2 INDUÇÃO DE ENERGIA	49
4 CONSTRUÇÃO E PROTOTIPAGEM.....	51
4.1 TECNOLOGIA ADOTADA PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	41
4.2 MATERIAIS E COMPONENTES.....	52
4.3 PROTOTIPAGEM.....	52
4.3.1 Conversão de Sinal e Controle de Carga.....	52
4.3.2 Filtro Capacitivo.....	52
4.3.3 Regulador de tensão.....	53
4.3.4 Diodo de Proteção.....	53
4.3.5 Desenhos.....	54
4.3.6 Pré-Montagem.....	56
4.3.7 Montagem.....	56
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	58
5.1 TESTES.....	59
5.2 RESULTADOS.....	61
5.2.3 FREQUÊNCIA OSCILATÓRIA	62
6 CONCLUSÃO.....	66
7 SUGESTÃO DE MELHORIAS.....	67
8 REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da rigidez das leis de emissão de poluentes, o aumento da eficiência na autonomia dos veículos é cada vez mais procurada por toda indústria automobilística sendo assim tecnologias que trazem uma maior capacidade de economia são de extrema importância, como no caso do KERS (Kinetic Energy Recovery System), que é um mecanismo que recupera parte da energia cinética gerada na desaceleração do veículo e o armazena para carregamento das baterias e que é utilizado atualmente na Fórmula 1 (NeoCharge, 2023), e já utilizado em automóveis híbridos e elétricos que diminuem o desgaste dos freios e aumenta a autonomia destes que se utilizam desse sistema.

1.1 Objetivo Geral

Neste projeto pesquisado e construído, é visto uma forma de recuperar a energia que se perde nas irregularidades nas vias, convertendo cada movimento linear da suspensão em movimento angular ligado a um gerador desta forma expandindo a eficiência energética dos veículos portadores deste sistema e avaliando a viabilidade de utilização em veículos movidos a combustão interna, híbridos e elétricos

1.2 Objetivo Específico

- 1° - Analisar as variedades de sistemas de suspensão disponíveis atualmente;
- 2° - Definir um tipo de sistema de regeneração de energia para utilização na bancada de teste;
- 3° - Desenvolver um protótipo para validação do projeto;
- 4° - Avaliar a eficiência do sistema proposto.

1.3 Motivação

Observamos que os veículos a combustão interna, híbridos e elétricos necessitam de uma maior autonomia e na suspensão é possível aproveitar a energia perdida que pode ser convertida em energia útil.

1.4 Estrutura do trabalho

O Trabalho está dividido desta forma: O capítulo 2 apresenta a metodologia geral do projeto onde se elencam as formas de pesquisa e testes. O capítulo 3 traz um resumo sobre a história da suspensão e seus diferentes funcionamentos, contendo o funcionamento das baterias e no final citando outros tipos de sistemas de regeneração de energia pela suspensão. No capítulo 4 demonstra toda a prototipagem e construção do sistema proposto no trabalho, desde o desenho, circuito e montagem. O capítulo 5 apresenta os testes e seus resultados do projeto e seu resultado.

2 METODOLOGIA

O propósito deste projeto é fazer um estudo de caso e prontamente criar um protótipo de um sistema de amortecedores regenerativos, seguindo a seguinte metodologia:

2.1 Revisão Bibliográfica

Realizando o levantamento de pesquisas e estudos relacionados a sistemas de suspensão e amortecedores e o funcionamento de baterias de veículos híbridos e puramente elétricos utilizando como foco as tecnologias existentes, recentes avanços nesse campo de pesquisa e desenvolvimento, e barreiras detectadas pelo campo automotivo.

Existem diferentes tipos de suspensões regenerativas que poderiam ser aplicadas em veículos elétricos e híbridos. Cada tecnologia busca recuperar a energia perdida durante o movimento do veículo e transformá-la em energia útil para alimentar as baterias do veículo.

2.2 Modelagem Teórica

Desenvolvimento dos cálculos teóricos da suspensão regenerativa, considerando fatores como a cinemática da suspensão, propriedade dos materiais, eletrodinâmica e eficiência energética, sendo baseada em equações matemáticas que descrevam o comportamento do protótipo em suas condições de operação.

2.3 Construção e Prototipagem

Com base nos resultados das simulações matemáticas, um protótipo de suspensão regenerativa será projetado. O protótipo será implementado em uma bancada de testes de pequena escala, reproduzindo a operação do sistema. A escolha do sistema e de seus componentes terá como foco os dados obtidos na revisão bibliográfica e nas simulações.

2.4 Testes Práticos

Realização de testes em ambiente controlado e de possíveis condições de campo para validar o desempenho real da suspensão regenerativa, A fim de coletar dados sobre a real eficiência energética, em diferentes ambientes e situações de condução, além do impacto na dirigibilidade e no conforto do veículo.

2.5 Análise de Resultados

Comparação dos resultados obtidos através dos experimentos e das simulações matemáticas teóricas, localizando divergências com o intuito de ajustar o modelo conforme necessário. Serão propostos elementos positivos e desafios detectados durante a implementação do sistema, disponibilizando melhorias futuras e aplicações abrangentes.

2.6 Considerações Finais e Conclusões

Análise dos principais resultados obtidos, evidenciando contribuições para o avanço da suspensão regenerativa em veículos híbridos e elétricos. Serão debatidas as limitações do projeto e sugestões para melhorias futuras, reforçando o conhecimento adquirido ao longo do trabalho.

Ao seguirmos essa metodologia, esperamos contribuir notoriamente para o campo da mobilidade elétrica, promovendo avanços na eficiência energética e na sustentabilidade dos veículos elétricos e híbridos por meio da implementação prática da suspensão regenerativa.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A suspensão automotiva tem uma grande história que acompanha a evolução dos veículos ao longo dos anos. Desde os primórdios do automobilismo, a suspensão desempenhou um papel crucial no conforto, segurança e desempenho dos automóveis. No início, os veículos motorizados eram dotados de sistemas de suspensão básicos, muitas vezes baseados em feixes de molas e amortecedores simples. À medida que a tecnologia avançou e a demanda por automóveis cresceu, os engenheiros se viram desafiados a aprimorar esses sistemas, tornando-os mais eficientes, leves, baratos e adaptáveis a uma variedade de condições de condução.

Neste mesmo contexto, a suspensão não se limitou apenas a suavizar as irregularidades da estrada, mas também desempenhou um papel fundamental no comportamento dinâmico dos veículos. Ela influencia a aderência, a estabilidade e a capacidade de manobra de um carro, sendo esta uma área de intensa pesquisa e desenvolvimento.

Assim, será explorada a evolução da suspensão automotiva, desde seu início até as tecnologias de ponta utilizadas nos carros de hoje. Ver-se-á como a busca constante por melhorias nesse sistema transformou a dirigibilidade dos veículos.

3.1 Sistema de Suspensão

O sistema de suspensão dos automóveis tem suas raízes nas carroças que eram arrastadas por animais. Durante o período do Império Romano, as rodas das carroças eram rígidas e não tinham a capacidade de mover-se em relação à carroceria como ilustrado na Figura 01, resultando na transferência direta de todas as vibrações do terreno para os ocupantes.

Posteriormente, um sistema foi desenvolvido, no qual as rodas eram conectadas ao veículo por meio de um mecanismo semelhante a um feixe de molas. Com esse sistema, à medida que o veículo se movimentava, os ocupantes ainda podiam sentir uma parte significativa das vibrações do terreno, mas em uma intensidade menor quando comparada à ausência do uso dessas molas (GERI,G, 2021).

Figura 01 – Carroça com suspensão por feixes de molas elípticas



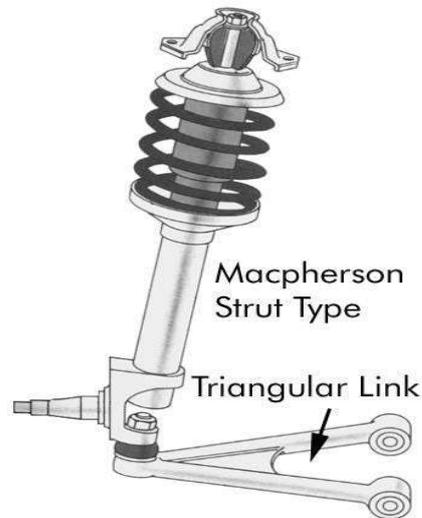
Fonte: Meccia, C. 2015.

Com o aumento da potência dos novos motores e, por conseguinte, a maior velocidade alcançável pelos veículos, os esforços envolvidos cresceram significativamente. Isso provocou uma alteração substancial no comportamento dinâmico dos carros, a ponto de as suspensões da época não serem mais capazes de proporcionar estabilidade e dirigibilidade adequada, considerando o porte dos demais sistemas do veículo. Vale ressaltar que, embora o modelo de suspensão de eixo rígido seja mais simples, ele é amplamente utilizado em veículos de carga, tanto leves quanto pesados nos dias atuais.

Devido a isso, foi preciso criar um modelo de suspensão distinto do eixo rígido utilizado anteriormente. Esse sistema inovador tinha como objetivo oferecer melhorias nas condições de dirigibilidade, bem como um comportamento mais eficiente em velocidades mais altas.

Nos últimos 40 anos, as suspensões de veículos automotores têm se fundamentado em dois elementos principais: a mola e o amortecedor como visto na Figura 02. Estes possibilitam o movimento relativo entre as rodas e a carroceria, permitindo que o veículo trafegue suavemente sobre superfícies irregulares. O objetivo é manter as rodas em contato com o solo pelo maior tempo possível, assegurando estabilidade e dirigibilidade. Ao mesmo tempo, minimizam os movimentos da carroceria para proporcionar maior conforto.

Figura 02 – Modelo de Suspensão Mcpherson



Fonte: Jocar, 2020.

Em projetos de suspensão de veículos, sempre há um conflito entre a estabilidade e o conforto. Geralmente, um veículo estável em estradas ruins não é confortável, pois exige amortecedores mais rígidos. Por outro lado, para conforto, a suspensão deve ser mais suave, mas isso compromete a estabilidade. Os amortecedores são projetados para encontrar um equilíbrio entre essas duas condições, o que é desafiador devido à diversidade de uso e carga dos veículos modernos.

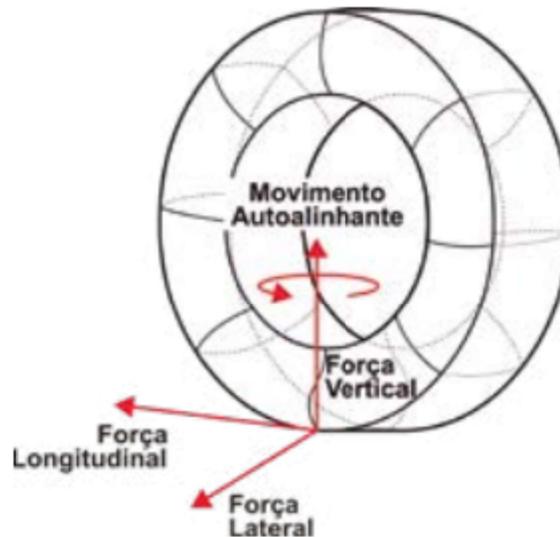
Além das molas e dos amortecedores, os pneus e os assentos também integram o sistema de suspensão, cujo principal objetivo nos veículos é oferecer viagens mais confortáveis aos ocupantes. Como mencionado anteriormente, equilibrar estabilidade e conforto é um desafio na suspensão veicular, pois essas duas características frequentemente entram em conflito durante o desenvolvimento do projeto. Em resumo:

- Priorizar a estabilidade pode resultar em uma sensação mais desconfortável para os ocupantes, devido à maior sensibilidade às vibrações da pista.
- Buscar o conforto pode comprometer a firmeza da suspensão, tornando a carroceria mais instável e propensa a oscilações.

É crucial considerar a atuação da suspensão em situações além da simples rodagem, como aceleração, frenagem e curvas. As características de dirigibilidade do veículo são determinadas pela forma como a suspensão responde à superfície da pista devido ao constante contato dos pneus com o solo, considerando fatores como o alinhamento das rodas e o movimento da carroceria, e as condições de operação

do veículo ditam a atuação desses fatores, que se alteram devido à carga e à tração que atuam sobre os pneus.

Figura 03 – Forças e movimentos realizados pelo pneu



Fonte: WERLANG, R. B. 2013.

“O sistema de suspensão automotivo proporciona um isolamento dos chassis em relação às irregularidades da pista. O conjunto também é responsável por manter as rodas com o esterçamento correto ao passo que mantém a variação do ângulo de camber (inclinação vertical da roda em relação à superfície do pavimento) condizente com o esterçamento. Outro ponto importante é a reação às forças geradas pelo contato entre pneus com a pista e o papel de absorver as oscilações causadas por frenagem e aceleração, mantendo dessa forma o contato dos pneus com o solo com a mínima variação de cargas possível” (GILLESPIE, 1996 apud ORTIZ, 2022, p. 17).

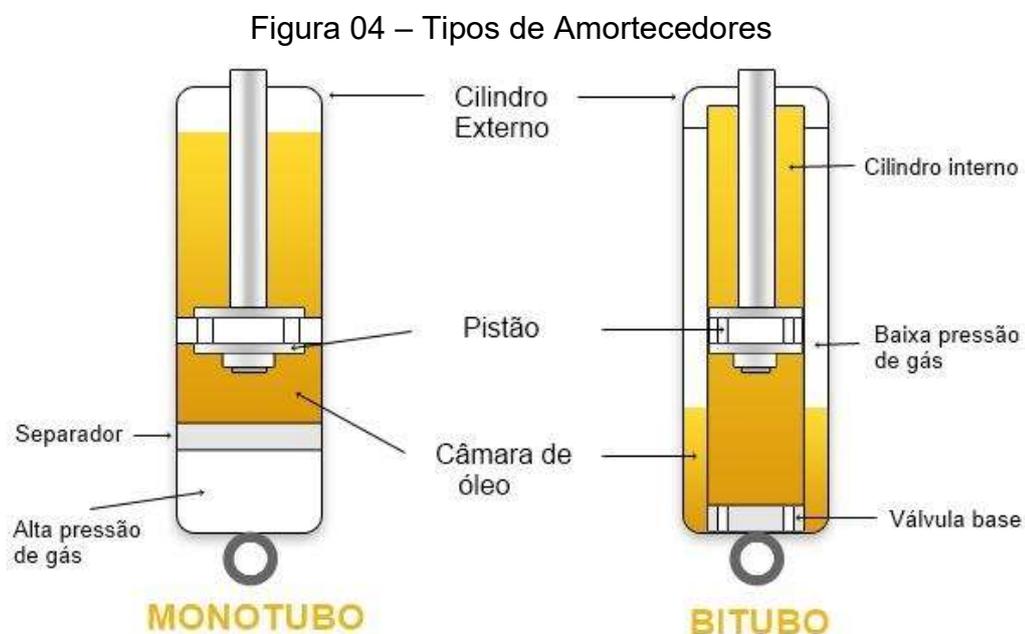
3.2 Amortecedores

Os amortecedores automotivos desempenham um papel crucial na suspensão do veículo, proporcionando conforto e estabilidade. A história dos amortecedores remonta ao final do século XIX, quando surgiram os primeiros automóveis. No início, os veículos tinham suspensões rígidas, resultando em viagens desconfortáveis, assim como dito anteriormente.

O desenvolvimento dos amortecedores evoluiu ao longo do tempo, com avanços notáveis nas décadas de 1920 e 1930. Surgiram designs hidráulicos, eletromagnéticos e a gás. A introdução de sistemas de suspensão independente nas décadas seguintes também influenciou os tipos de amortecedores.

Hoje, os amortecedores mais comuns incluem os hidráulicos, baseados em óleo, que absorvem impactos e controlam oscilações. Os amortecedores a gás, que utilizam nitrogênio para melhorar a resposta, e os eletrônicos, que ajustam automaticamente às condições da estrada, são tecnologias mais recentes que oferecem desempenho aprimorado em diversas situações de condução.

Apesar de desempenharem a mesma função, os tipos de amortecedores podem diferir conforme o veículo, devido às distintas características tanto no uso quanto na construção do automóvel. Os amortecedores hidráulicos automotivos mais comuns são os bitubo e os monotubo apresentado na Figura 04.



Fonte: Wiki Automation Brasil, 2014.

3.2.1 Amortecedor bitubo

Estrutura: Possuem dois tubos concêntricos, um dentro do outro;

Funcionamento: O tubo externo contém óleo, enquanto o tubo interno abriga um pistão conectado à haste;

Operação: Quando o veículo atinge um obstáculo, o pistão é forçado a se mover no interior do tubo, comprimindo o óleo. Isso cria resistência ao movimento, absorvendo impactos e mantendo a estabilidade;

Tipos: Pressurizados e não pressurizados (normalmente com gás nitrogênio).

3.2.2 Amortecedor monotubo

Estrutura: Consistem em um único tubo pressurizado, onde o óleo e o gás são mantidos separados por um pistão móvel.

Funcionamento: O pistão separa o óleo da câmara de compressão e a câmara de expansão, normalmente preenchida com gás nitrogênio.

Operação: Durante compressões, o pistão move-se no interior do tubo, forçando o óleo através de orifícios de válvulas, controlando assim a resistência. Esse tipo oferece resposta mais rápida e eficiente em comparação com os amortecedores de tubo duplo. Porém, ambos os tipos de amortecedores hidráulicos desempenham um papel fundamental na absorção de impactos e na manutenção do contato das rodas com o solo, proporcionando uma condução suave e segura. A escolha entre eles muitas vezes depende das preferências do fabricante do veículo e das características desejadas para o desempenho, como dito anteriormente.

3.3 Baterias e carregamento

Os componentes essenciais de um carro elétrico consistem principalmente na integração de um motor elétrico, baterias e um pedal conectado ao sistema de controle de energia. Nos veículos híbridos, além do motor elétrico, há também a presença do motor a combustão, também conhecido como unidade híbrida.

A bateria desses tipos de veículos se tornaram algo revolucionário, porém ainda é um problema quando se trata de carregamento e autonomia das mesmas.

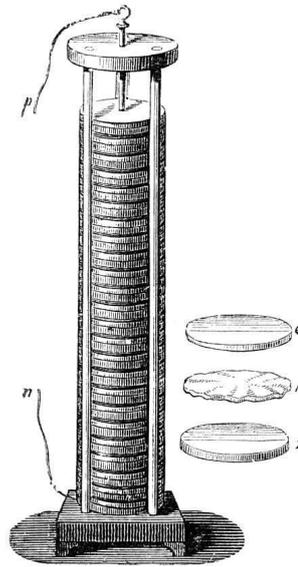
Figura 05 – Carregamento de baterias de um carro elétrico



Fonte: Sikorka G. 2018.

A história da primeira bateria remonta ao século XVIII, creditando-se a invenção ao cientista italiano Alessandro Volta. Em 1800, Volta desenvolveu a "pilha voltaica", que foi a primeira bateria química conhecida.

Figura 06 – Pilha voltaica de Volta



Fonte: GRANGER, 2014.

A pilha voltaica era composta por discos alternados de zinco e cobre, separados por pedaços de papel embebidos em uma solução salina. Essa configuração criava uma diferença de potencial elétrico entre os metais, gerando uma corrente elétrica constante. Essa invenção foi um marco importante, pois proporcionou uma fonte de energia estável e sustentável para experimentos elétricos da época.

O termo "volt" em eletricidade é uma homenagem a Alessandro Volta, reconhecendo sua contribuição significativa para o desenvolvimento das baterias e para a compreensão da geração de eletricidade. Desde então, as baterias evoluíram consideravelmente em termos de design, materiais e aplicações, tornando-se elementos essenciais em inúmeras tecnologias e dispositivos modernos.

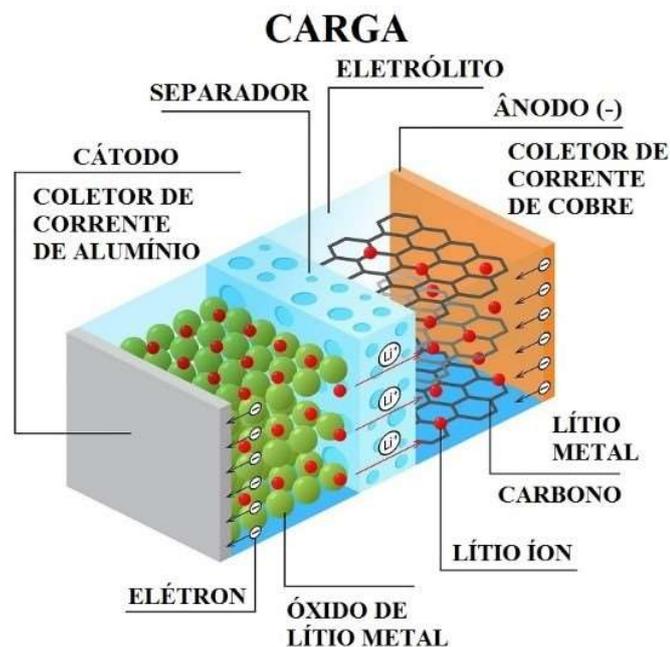
As baterias passaram por uma evolução ao longo dos tempos, mas o princípio continua o mesmo do princípio Volta. Com o passar do tempo houve a necessidade de aperfeiçoar e desenvolver baterias capazes de armazenar energia e que fossem capazes de ser recarregadas. Em 1912, Gilbert Newton Lewis começou seus estudos para criação de uma bateria com tecnologia de Lítio, mas demorou décadas para que esse tipo de bateria se tornasse seguro. Com o desenvolvimento de muitos

pesquisadores em 1970 surge um modelo de bateria, formada por Íons de Lítio, que é ainda usada atualmente.

A bateria de íons de Lítio é composta por cátodo, ânodo, eletrólito e separador poroso. O funcionamento dessa bateria tem seus princípios na movimentação iônica. Nesse processo, os íons de lítio (Li^+) difundem-se pela estrutura cristalina tanto do cátodo quanto do ânodo. Esse fenômeno envolve movimentação de íons de lítio de um dos terminais, para o outro, criando um ciclo de oxirredução e criando uma diferença de potencial, esse ciclo é impulsionado pela necessidade de os elétrons se movimentarem da mesma forma através de circuitos externos (CHAGAS, L. G.; URBANO, A.; SCARMINIO, J, 2006).

Na fabricação da bateria, o cátodo inicialmente está repleto de íons de lítio, enquanto o ânodo está vazio. No processo de carga ilustrado na Figura 07, há a movimentação dos íons de Lítio do cátodo para o eletrólito e a subsequente a movimentação desses íons do eletrólito para o ânodo, e esse processo não é espontâneo, requer uma fonte de energia elétrica seja por meio de carregamento com carregador ou por meio de regeneração e conversão de tensão para abastecer as baterias. Simultaneamente, um elétron deve migrar do cátodo para o ânodo, percorrendo o circuito externo.

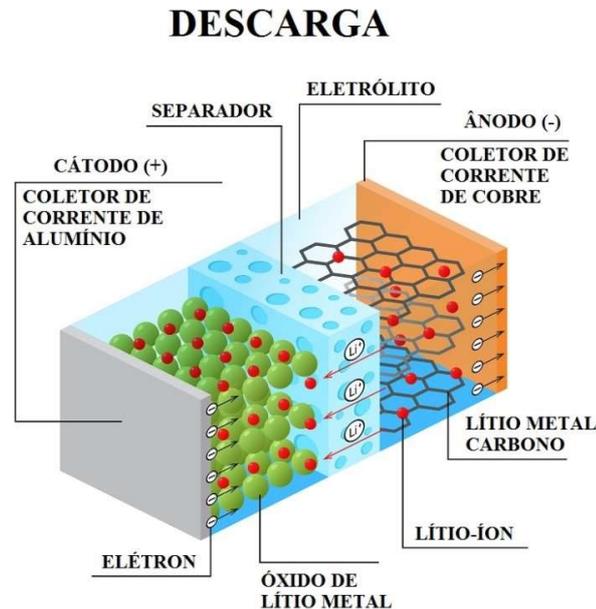
Figura 07 – Processo de Carga na Bateria de íons de Lítio



Fonte: STA Eletrônica, 2021.

Durante a descarga, os íons de Lítio se movimentam do ânodo para o cátodo, desde que um elétron siga a mesma direção pelo circuito externo.

Figura 08 – Processo de Descarga na Bateria de Íons de Lítio



Fonte: STA Eletrônica, 2021.

Apesar dos avanços promissores na redução do tempo de recarga e do peso dos modelos, a adaptação definitiva no setor automobilístico ainda enfrenta desafios. Investimentos adicionais, tanto financeiros quanto temporais, são necessários para alcançar um modelo ideal. O desenvolvimento das baterias precisa ser acompanhado por avanços nas possibilidades de recarga. Atualmente os postos de recarga de veículos híbridos e elétricos já estão em constante desenvolvimento em diversos países, porém é preciso ter uma atenção maior no aumento da autonomia, seja por meio da própria tecnologia das baterias, de motores híbridos mais eficientes ou de sistemas de regeneração integrados aos veículos.

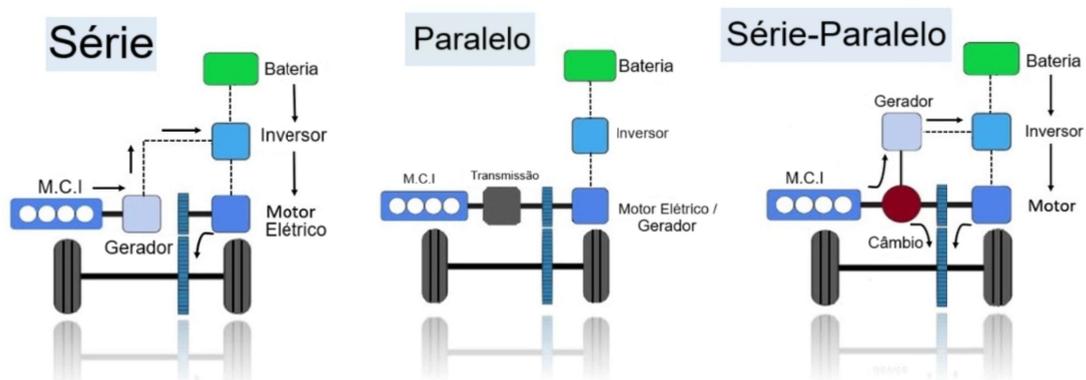
3.4 Motores Híbridos

Um motor híbrido combina dois ou mais tipos de sistemas de propulsão, no meio automotivo é geralmente um motor de combustão interna e um motor elétrico. Essa combinação visa otimizar a eficiência de combustível e reduzir as emissões. Em regras gerais existem três tipos de sistemas híbridos, o Paralelo, o Série e o Série-Paralelo.

Nos híbridos paralelos, tanto o motor de combustão interna quanto o motor elétrico podem fornecer energia para dar tração ao veículo. Já nos híbridos em série, apenas o motor elétrico é usado para impulsionar o veículo, enquanto o motor de combustão interna atua como um gerador para carregar a bateria ou fornecer energia diretamente ao motor elétrico. O motor Série-Paralelo, é uma variação do híbrido paralelo. Ele incorpora um dispositivo de divisão de potência, que possibilita que o veículo tire proveito da capacidade do motor elétrico em fornecer torque desde a partida completa. Ao utilizar o motor elétrico em baixas velocidades, isso permite que o fabricante utilize um motor a combustão menor e menos potente, sem comprometer a sensação de baixa potência e a falta de aceleração final.

Esses sistemas oferecem benefícios como maior eficiência energética, redução de emissões e a capacidade de operar em modo totalmente elétrico em baixas velocidades.

Figura 09 – Tipos de Motores Híbridos



Tipos de Veículos Elétricos Híbridos

Fonte: LENZ, A. L., 2012.

“Nem todos os Híbridos são capazes de serem conectados à rede elétrica para recarregar suas baterias. Originalmente, os híbridos contavam com o motor a combustão para carregar suas baterias, dependendo da queima de combustível. No entanto, com o surgimento dos Veículos Elétricos, os híbridos passaram a incorporar conectores para recarga diretamente da rede elétrica. Qualquer híbrido cuja bateria pode ser recarregada dessa maneira é classificado como "Plug-in" “(LENZ, A. L., 2012).

3.5 Suspensões Regenerativas

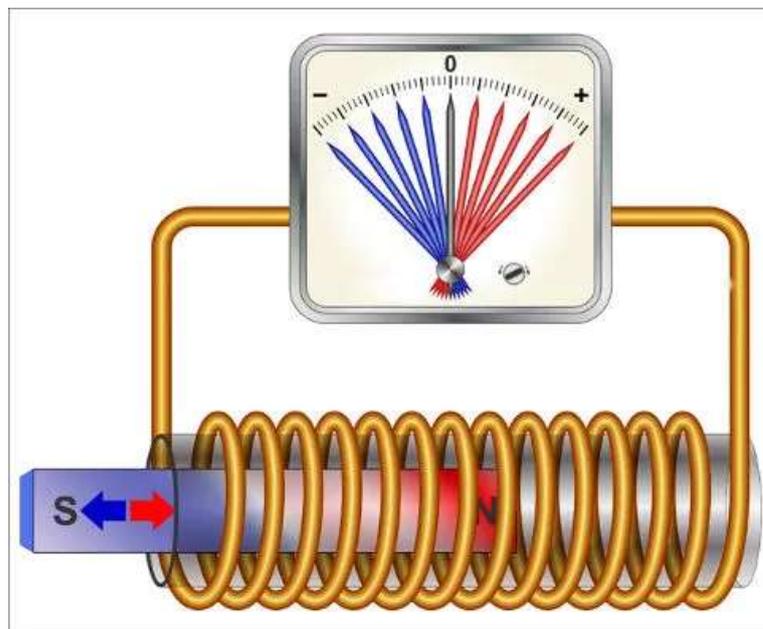
A suspensão regenerativa é um sistema que recupera energia durante o movimento do veículo, convertendo a energia cinética das vibrações da suspensão em energia elétrica. Esta energia pode ser armazenada e reutilizada para alimentar os componentes elétricos do veículo, ajudando a aumentar a eficiência energética e até mesmo carregando baterias. O sistema é uma forma inovadora de aumentar a sustentabilidade e a eficiência dos veículos.

3.5.1 Sistema Eletromagnético de Amortecedores Regenerativos

O amortecedor regenerativo por meio de uma bobina e ímãs é um tipo de sistema de suspensão que é capaz de recuperar a energia cinética gerada pela oscilação do veículo e transformá-la em energia elétrica através dos conceitos de indução de corrente elétrica.

O seu funcionamento é baseado no princípio de indução Eletromagnética, um ímã permanente é movido pelo interior de um circuito, variando o fluxo magnético. De acordo com a lei de Faraday-Lenz, essa variação de fluxo gera uma força eletromotriz em um solenoide (bobina) como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Geração de tensão por um sistema de bobina e ímã



Fonte: Helerbrock R. 2012.

3.5.1.1 Geração de Energia

O amortecedor regenerativo representado na Figura 11, utiliza esse princípio ao incorporar uma haste magnética, podendo ser feita de vários ímãs agrupados ou uma barra completa, em movimento relativo a uma bobina fixa. Esse movimento ocorre em resposta às vibrações oscilatórias do veículo, semelhante ao movimento de um amortecedor telescópico convencional. O movimento da haste magnética em relação à bobina induz uma variação no fluxo magnético, e essa variação, de acordo com a lei de Faraday-Lenz, gera uma corrente elétrica induzida na bobina. A corrente elétrica gerada na bobina resulta em uma tensão elétrica que então capturada, podendo ser utilizada para carregar a bateria do veículo ou utilizada para suprir outros sistemas.

Figura 11 – Protótipo de um sistema de suspensão com bobina e ímã



Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Em pesquisas realizadas por Ortiz no IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina), foi observado no protótipo montado que os dados obtidos pelos sensores no protótipo, verifica-se que os dados são coerentes aos calculados, entretanto não suficientes para utilização da energia gerada (ORTIZ, 2022).

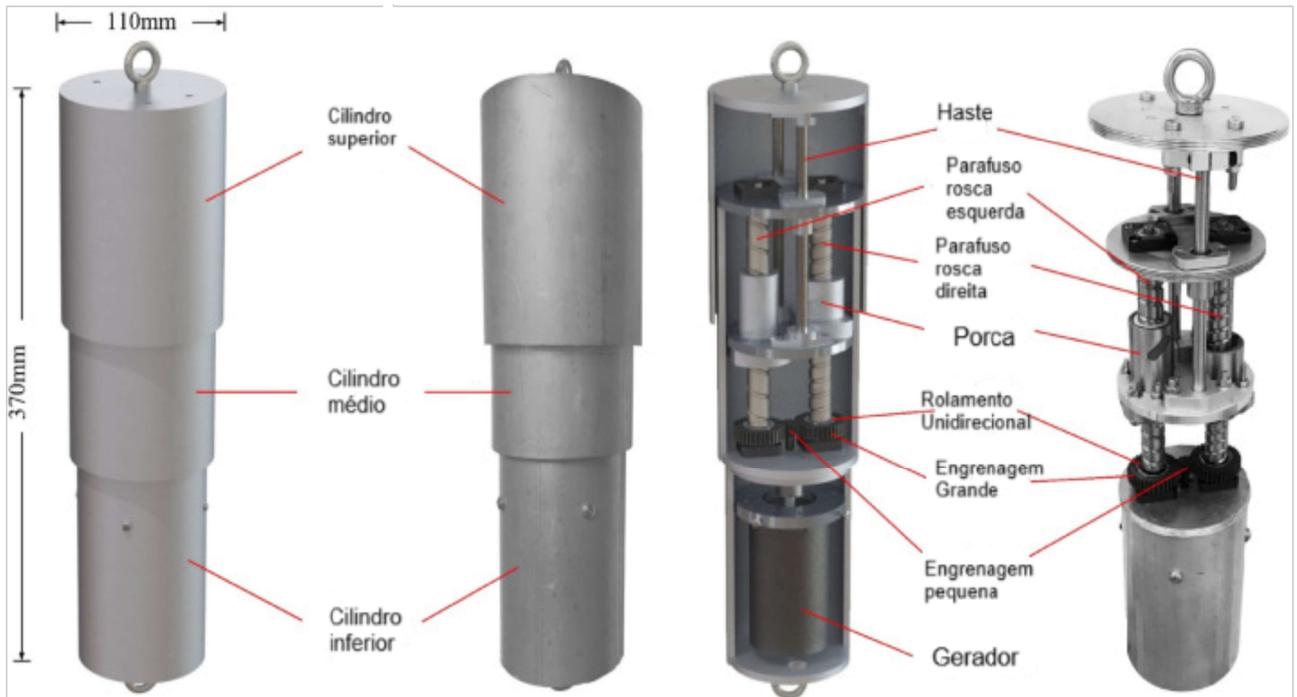
Porém, a pesquisa enfatiza a necessidade de estudar a aplicação da tecnologia de geração de energia a partir do movimento oscilatório da suspensão de veículos, considerando diferentes tipos de veículos e usos. Sugere melhorias na captação de

sinais, aprimoramento da bobina com fios de cobre esmaltado e ímãs mais fortes, além do cálculo do atrito induzido. Destaca-se a importância de considerar o atrito como um amortecedor adicional e propõe o desenvolvimento de um sistema para amplificar o fluxo magnético, otimizando a geração de energia com variações mínimas nos braços de suspensão, visando alcançar o potencial máximo do conjunto sem intervir no sistema de amortecimento.

3.5.2 Amortecedor Regenerativo com Pinhão e Cremalheira

O amortecedor regenerativo com pinhão e cremalheira, citado na Figura 12, é um tipo de suspensão que é capaz de absorver energia proveniente das oscilações da suspensão do veículo e convertê-la em energia elétrica, que pode ser armazenada na bateria do veículo. Esse sistema é composto por um conjunto de sensores, atuadores e controladores que monitoram as oscilações da suspensão e ajustam a força de amortecimento em tempo real. O sistema funciona da seguinte forma: quando o veículo passa por uma irregularidade na pista, a roda se move para cima e para baixo, gerando uma força que é transmitida para o amortecedor. O amortecedor é composto por um pistão que se move dentro de um cilindro cheio de óleo. Quando o pistão se move para cima, ele comprime o óleo, gerando uma força que é transmitida para a parte superior do amortecedor. Quando o pistão se move para baixo, ele puxa o óleo para dentro do cilindro, gerando uma força que é transmitida para a parte inferior do amortecedor. No sistema de amortecedor regenerativo com pinhão e cremalheira, o pistão do amortecedor é conectado a um pinhão que se move ao longo de uma cremalheira.

Figura 12 – Protótipo de suspensão regenerativa com pinhão e cremalheira

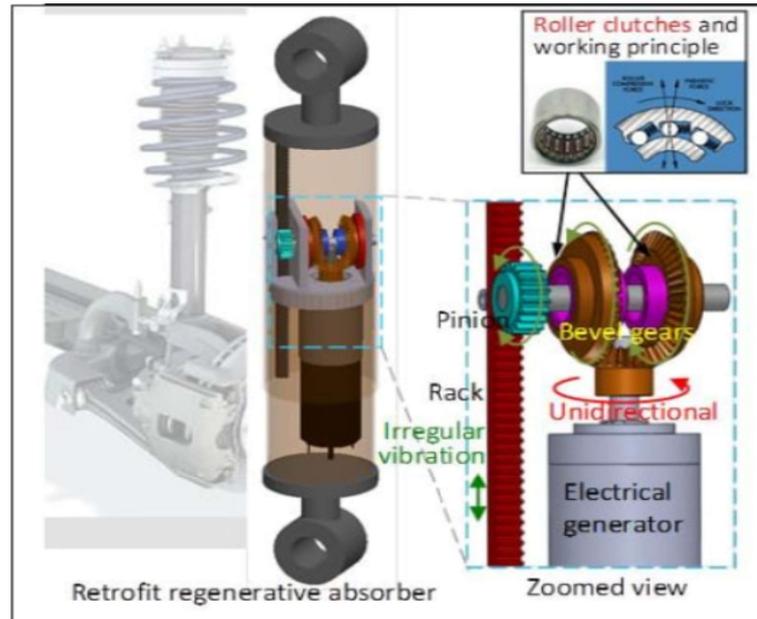


Fonte: Lei Zuo, 2015.

3.5.2.1 Geração de Energia

Quando o pistão se move para cima, como visto na Figura 13, o pinhão se move para a direita, gerando uma força que é transmitida para um gerador elétrico. O gerador converte a energia mecânica em energia elétrica, que é armazenada na bateria do veículo. Quando o pistão se move para baixo, o pinhão se move para a esquerda, gerando outra força que é transmitida para o gerador elétrico. O gerador converte novamente a energia mecânica em energia elétrica, que é armazenada na bateria do veículo. Esse processo de conversão de energia mecânica em energia elétrica ajuda a aumentar a eficiência energética do veículo e a aumentar sua autonomia.

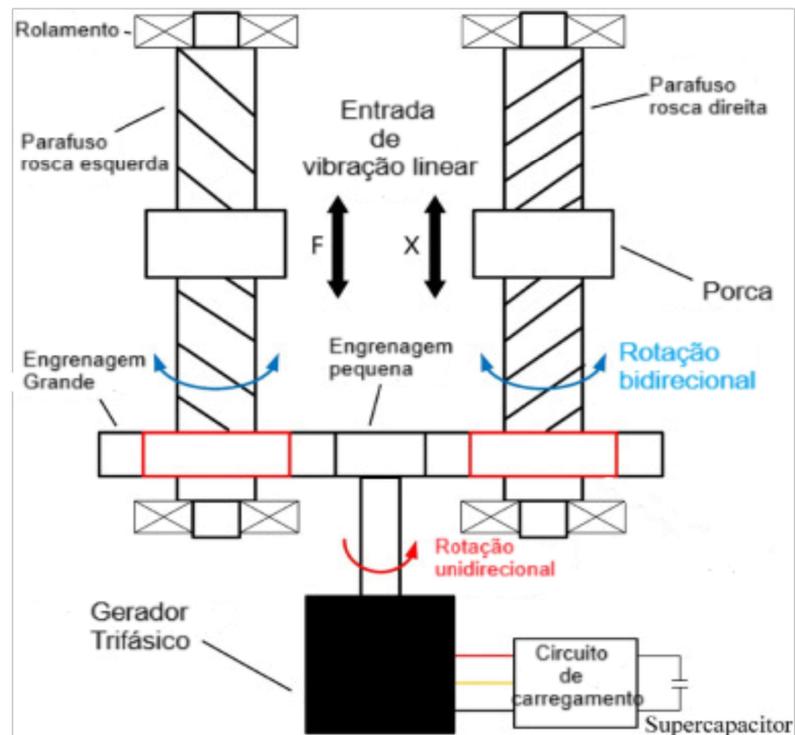
Figura 13 – Componentes que compõe suspensão regenerativa pinhão cremalheira



Fonte: Lei Zuo, 2015.

A Figura 14 demonstra como o modelo da transmissão pode ser feita de várias formas, porém seu funcionamento é parecido mudando praticamente só o tamanho e complexidade do sistema.

Figura 14 – Modelo alternativo de suspensão regenerativa pinhão cremalheira



Fonte: Lei Zuo, 2015.

3.5.2.2 Eficiência e Potencial de Melhoria

Embora esse sistema tenha um potencial para geração de energia, o rendimento é atualmente considerado baixo devido às perdas no sistema já que é utilizado engrenagens e cremalheira, estas partes mecânicas criam perdas de energia, não sendo aproveitado 100% da energia convertida das oscilações do chão.

Pontos Positivos:

O sistema tem o potencial de gerar energia elétrica a partir das oscilações naturais da suspensão, contribuindo para a eficiência energética do veículo. Pode ser aplicado em uma variedade de veículos, não sendo necessariamente aplicado em veículos híbridos ou elétricos, já que pode ser aplicado em veículos de combustão interna, diminuindo a necessidade de atuação do alternador, destacando sua versatilidade (ZHANWEN WAN, TIANMING ZHANG, ZUTAO ZHANG, 2019).

Pontos Negativos:

O rendimento do sistema é considerado baixo devido às perdas no sistema. Nesse sistema sua construção é mais complexa contém um maior custo por ter uma grande quantidade de peças móveis que necessitam de lubrificação e uma manutenção constante já que a suspensão é uma parte crítica do veículo, onde é absorvida toda a irregularidade do piso sendo necessária para manter a estabilidade do veículo, e o maior peso deste sistema pode atrapalhar na eficiência geral do veículo. Em uma aplicação veicular é necessária maior adaptação (ZHANWEN WAN, TIANMING ZHANG, ZUTAO ZHANG, 2019).

3.5.2.3 Resultados sobre o Amortecedor Regenerativo com Pinhão e Cremalheira

Testes feitos na School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University mostram resultados sobre este tipo de amortecedor.

“O teste MTS, análise relacionada e cálculo dos resultados certificam a alta eficiência mecânica e a destacada eficiência de geração de energia do protótipo. A energia de vibração pode ser capturada com uma eficiência máxima de 51,1% e eficiência média de 36,44%. O protótipo alcançou uma saída média de energia de 3,701 W em uma entrada de vibração senoidal de 1 Hz – 3 mm. A eletricidade gerada está positivamente correlacionada com as amplitudes e frequências. À medida que a amplitude ou frequência aumenta, a potência de saída também aumenta. Limitados pelas condições

experimentais existentes, pela estrutura de conhecimento do autor e pelo nível de habilidade, há alguns trabalhos que precisam ser concluídos no futuro. Testes de campo com o amortecedor regenerativo proposto serão realizados. De acordo com a estimativa, a autonomia pode ser estendida aproximadamente em 1 km a cada 100 km quando o veículo elétrico está em uma estrada de altas irregularidades a uma velocidade de 60 km/h. No entanto, a autonomia precisa ser medida precisamente. Como o amortecedor regenerativo proposto é esperado para aumentar a autonomia dos veículos elétricos, a confiabilidade do amortecedor regenerativo precisa ser avaliada no futuro.” (ZHANWEN WAN, TIANMING ZHANG, ZUTAO ZHANG, 2019).

O sistema de suspensão regenerativa com pinhão e cremalheira mostra promessa, mas a eficiência global precisa ser aprimorada para tornar essa abordagem economicamente viável e competitiva em comparação com outras tecnologias de geração de energia. O desenvolvimento contínuo e melhorias no projeto podem aumentar a eficiência e a aplicabilidade desse sistema em veículos automotivos.

Figura 15 – Gerador Oscilo-Dinâmico

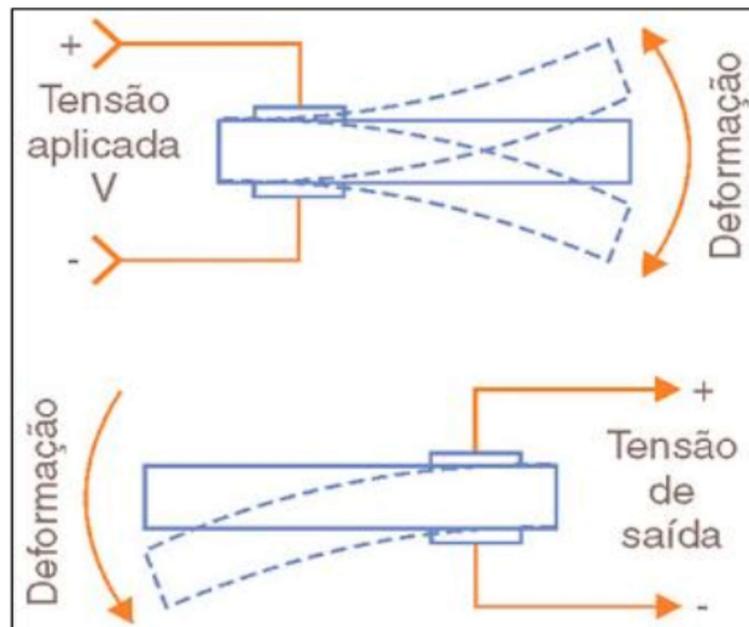


Fonte: ORTIZ, 2018.

3.5.3 SUSPENSÃO REGENERATIVA COM PIEZOELÉTRICOS

Segundo Ramadass, o funcionamento desse sistema é baseado no princípio do efeito piezoelétrico, onde uma placa de material piezoelétrico oscila com as vibrações do veículo em movimento, gerando uma deformação no material (RAMADASS, 2010), ilustrado na Figura 16, que devolve um sinal de tensão. O efeito também é reversível, o que significa que ao receber um sinal de excitação, o material se deforma.

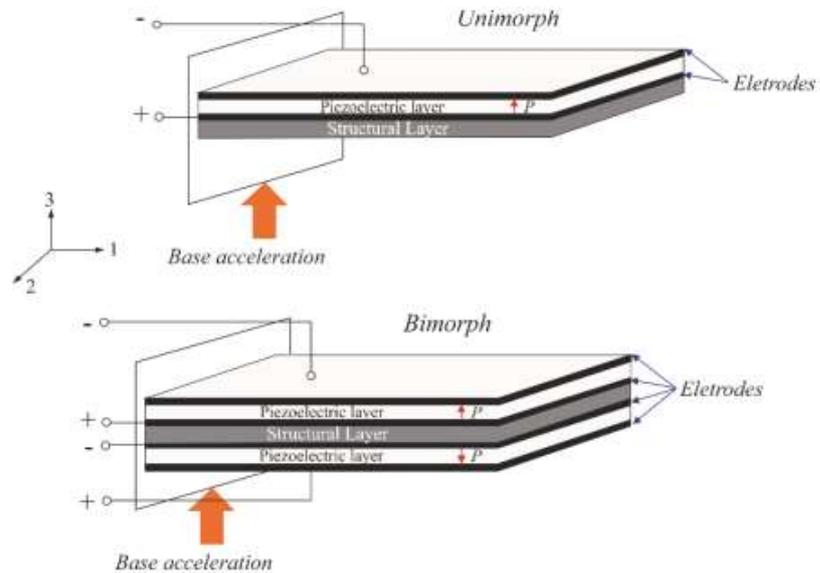
Figura 16 – Configuração básica para captação de energia através de vigas piezoelétricas em balanço



Fonte: DA SILVA, R.H.V, 2018.

As placas podem ser compostas por uma camada piezoelétrica, conhecida como piezoelectric unimorph beam (PUB), ou composta por duas camadas piezoelétricas designada como bimorph cantilever beam (BCB) (são vigas que são suportadas apenas por um lado, normalmente com suporte fixo), exemplificadas na Figura 17. Ainda segundo o autor, os bimorfos são os mais utilizados pois fornecem maiores níveis de energia de saída (DA SILVA, R.H.V, 2018).

Figura 17 – Tipos de geradores piezolétricos unimorfo e bimorfo



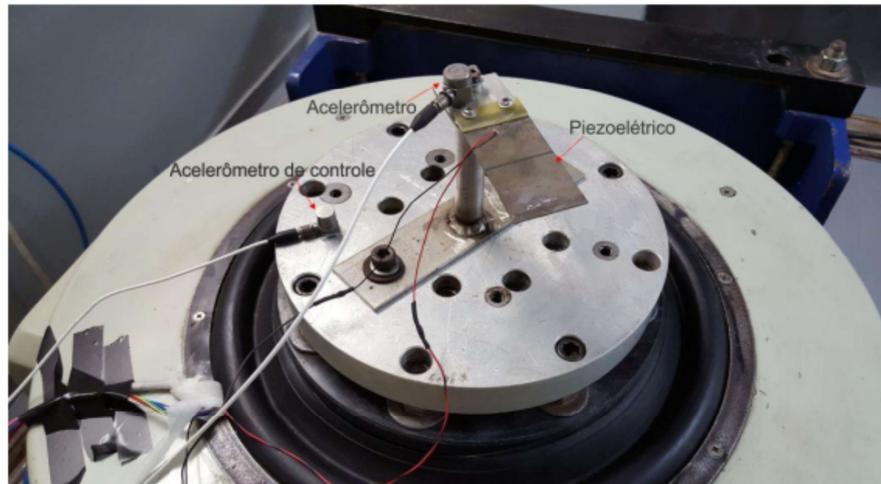
Fonte: CEFET/RJ, 2016.

Um estudo comparativo do sistema piezoelétrico foi realizado por alunos do curso de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ em 2016, onde por experimentos práticos desenvolveram e analisaram sistemas sob condições lineares, sem influência de campo magnético externo, e não-lineares, que consistiu em apenas adicionar uma massa magnética junto as placas, sendo denominados como piezoelásticos, montado na Figura 18 e piezomagnetoelásticos montado na Figura 19 respectivamente.

Nesse estudo foram realizados diversos testes com frequências de oscilações diferentes, assim podendo concluir que para diferentes frequências, cada sistema pode ser mais ou menos eficiente.

No primeiro caso fizeram a montagem do aparato experimental Piezoelástico, que consiste do elemento piezoelétrico sem influência de campo magnético externo, fixado no *Shaker* Eletromecânico (atuador capaz de gerar movimentos lineares em uma plataforma de teste, com amplitudes e frequências definidas pela excitação elétrica aplicada).

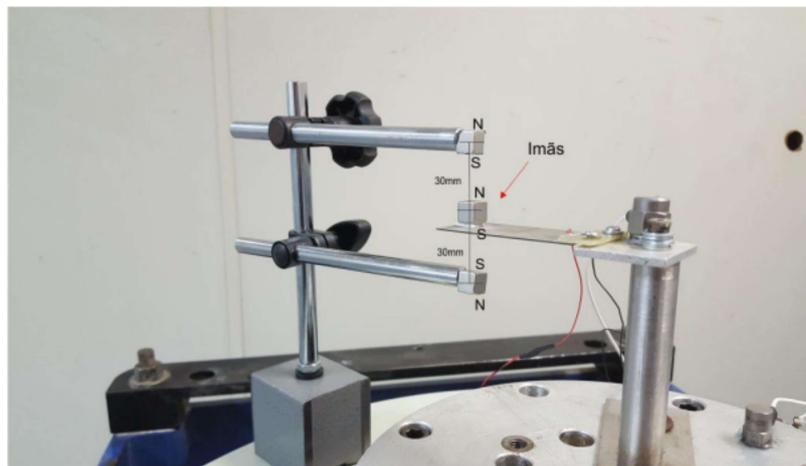
Figura 18– Aparato experimental Piezoelástico



Fonte: CEFET/RJ, 2016.

Na segunda parte da pesquisa, realizaram os testes montando o sistema Piezomagnetoelástico visto na Figura 19, para analisarem casos não lineares, também fixado no *Shaker* Eletromecânico.

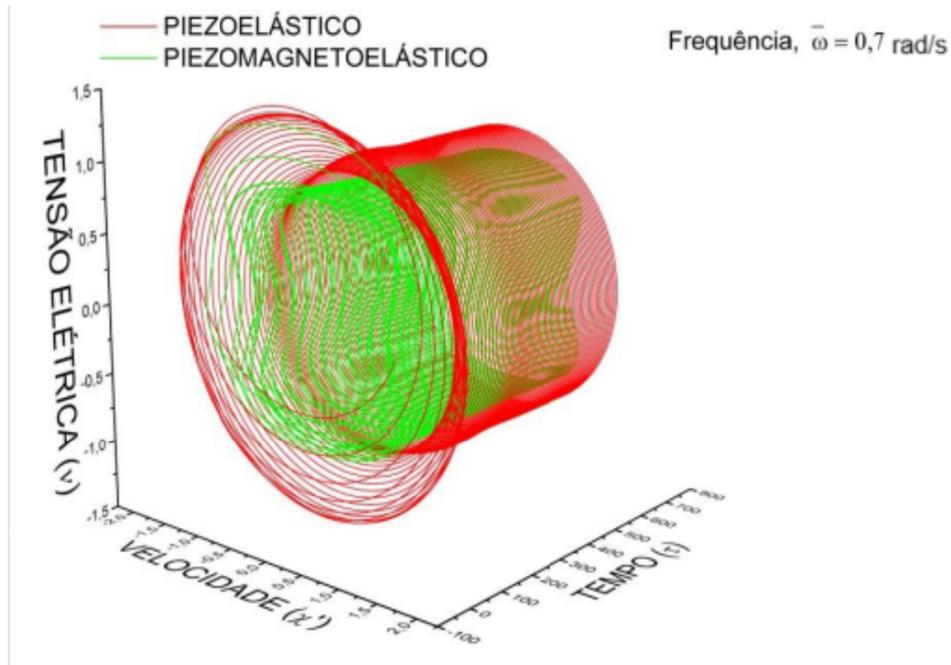
Figura 19 – Arranjo vertical onde há atração na parte superior e repulsão na parte inferior



Fonte: CEFET/RJ, 2016.

Assim os autores do estudo “Geração de Energia através de Materiais Piezoelétricos” concluíram através dos ensaios que para diferentes frequências e amplitudes de oscilação, um sistema tem melhor eficiência quando comparado ao outro, comprovados nos gráficos da Figura 20 e da Figura 21.

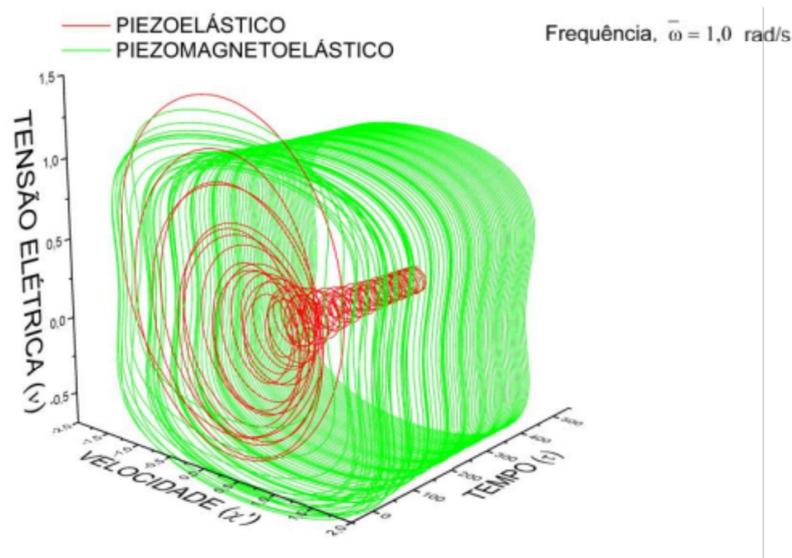
Figura 20 – Variação da tensão elétrica e da velocidade através do tempo para uma frequência angular de 0,7 rad/s



Fonte: CEFET/RJ, 2016.

“Fica claro, portanto, que apesar do sistema piezoelástico ter produzido um pico de tensões maiores para a frequência de 0,7 rad/s, as mesmas tiveram grande variação conforme as frequências se distanciavam deste valor. Logo, vale ressaltar que o sistema não linear é mais eficiente para a geração de energia.” (PERLINGEIRO A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, S. E, 2016).

Figura 21 – Variação da tensão elétrica e da velocidade através do tempo para uma frequência angular de 1,0 rad/s



Fonte: CEFET/RJ, 2016.

“O sistema não linear se mostrou eficiente quando comparado a sistemas lineares em algumas configurações, dependendo da natureza da força magnética. Os resultados numéricos tiveram o intuito de mostrar o comportamento dos sistemas piezoelástico e piezomagnetoelástico. Foi possível ver que com a introdução da não linearidade, em algumas situações, o sistema não linear se mostrou mais eficiente que o linear, uma vez que o mesmo consegue gerar mais energia em uma faixa maior de frequências, o que torna viável a sintonização com vibrações do ambiente.” (PERLINGEIRO A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, S. E, 2016).

3.5.3.1 Geração de energia

O amortecedor regenerativo utiliza desse princípio ao incorporar uma placa do material piezoelétrico nas extremidades dos amortecedores. Quando o veículo se move sobre terrenos irregulares ou passa por solavancos na estrada, gerando um movimento oscilatório, os materiais piezoelétricos são comprimidos causando a deformação elástica das placas e gerando uma carga elétrica, energia essa que pode ser usada para alimentar outros sistemas elétricos do carro, reduzindo assim a demanda sobre a bateria principal e melhorando a eficiência energética global do veículo.

Pontos Positivos:

A utilização de materiais piezoelétricos e eletromagnéticos representa uma abordagem inovadora na captação e aproveitamento de energia a partir do movimento do veículo. A capacidade desses materiais de converter forças mecânicas em energia elétrica, seja por meio de pressão, tensão ou vibração, abre portas para novas possibilidades na indústria automotiva, promovendo uma direção mais eficiente (PERLINGEIRO A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, S. E, 2016).

Pontos Negativos:

Decorrente da complexidade, custo e limitações dos materiais, implementar sistemas piezoelétricos, pode ser um grande desafio, por serem frágeis e podendo apresentar limitações em termos de deformação, a eficiência do sistema pode ser afetada e ao em incorporar em veículos, aumenta a complexidade e o custo de produção dos veículos (PERLINGEIRO A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, S. E, 2016).

3.5.3.2 Resultados sobre amortecedores regenerativos baseados em materiais piezoelétricos e eletromagnéticos

A utilização de amortecedores regenerativos baseados em materiais piezoelétricos e eletromagnéticos oferece uma promissora perspectiva para a captura de energia cinética e sua conversão em eletricidade. Embora apresente vantagens significativas em termos de eficiência energética e sustentabilidade, os desafios relacionados à fragilidade de alguns materiais e a complexidade tecnológica precisam ser considerados. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento são necessários para superar esses obstáculos e tornar essa tecnologia mais viável e acessível para a indústria automotiva (CEFET/RJ, 2016).

3.5.4 SUSPENSÃO HIDRÁULICA REGENERATIVA

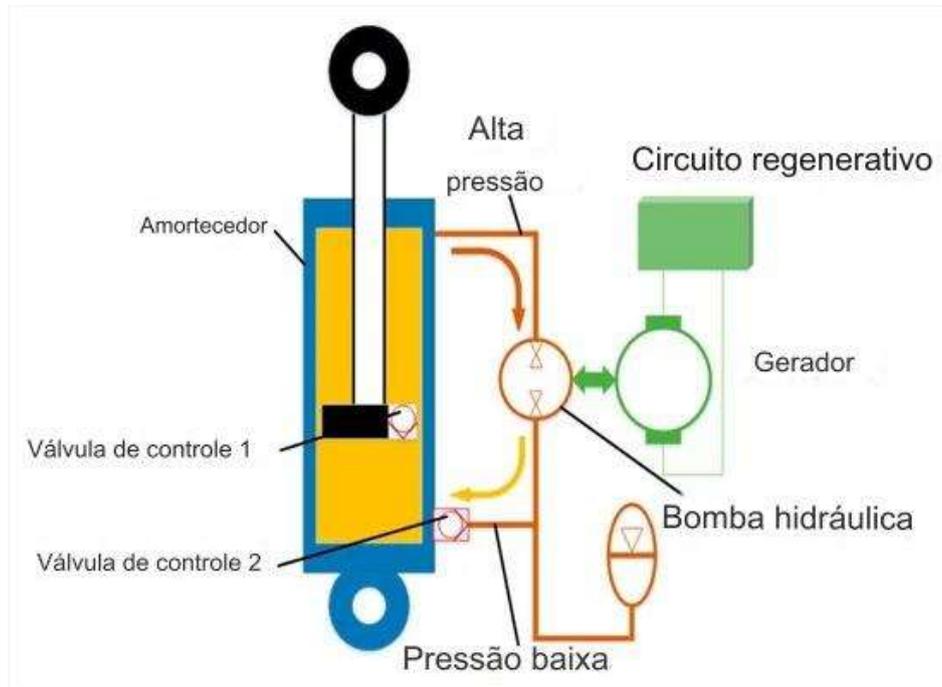
O amortecedor regenerativo hidráulico é um tipo de sistema de suspensão que é capaz de recuperar a energia mecânica gerada pelas vibrações do veículo e convertê-la em energia hidráulica armazenada em um acumulador.

O funcionamento desse sistema é baseado em um conjunto de válvulas hidráulicas que são capazes de direcionar o fluxo de fluido hidráulico para um acumulador de energia. Quando o veículo passa por uma superfície irregular, a energia mecânica gerada pelas vibrações é absorvida pelo amortecedor regenerativo hidráulico.

3.5.4.1 Geração de energia

O amortecedor é composto por um pistão que se move dentro de um cilindro cheio de fluido hidráulico. Quando o pistão se move para cima, o fluido hidráulico é forçado através de uma válvula de controle de fluxo e direcionado para um acumulador de energia. Esse acumulador é capaz de armazenar a energia hidráulica gerada pelo sistema. Quando o pistão se move para baixo, o fluido hidráulico é forçado através de outra válvula de controle de fluxo e retorna ao cilindro. Durante esse processo, a energia hidráulica armazenada no acumulador é liberada e usada para alimentar sistemas elétricos do veículo ou para fornecer energia adicional ao motor. A energia hidráulica gerada pelo sistema é transformada em energia elétrica por meio de um motor hidráulico acoplado ao acumulador de energia. Esse motor é capaz de converter a energia hidráulica em energia elétrica que pode ser usada para alimentar sistemas elétricos do veículo ou para fornecer energia adicional ao motor.

Figura 22 – Sistema de Suspensão hidráulica regenerativa proposto pela College of Instrumentation & Electrical Engineering



Fonte: XUEYING LV, 2019

Pontos Positivos:

Permite a recuperação de parte da energia perdida durante o movimento da suspensão, contribuindo para a eficiência energética do veículo. Se bem projetado, pode aumentar a eficiência do sistema de suspensão, reduzindo o consumo de combustível ou aumentando a autonomia em veículos elétricos e híbridos. Minimiza o desperdício de energia que, em sistemas de amortecimento convencionais, seria dissipada como calor (XUEYING LV, 2019).

Pontos Negativos:

A introdução de componentes regenerativos pode aumentar a complexidade do sistema de suspensão, resultando em custos adicionais de fabricação e manutenção. O método de recuperação e os fatores que afetam as características regenerativas e de amortecimento do sistema de suspensão regenerativa de energia estão sendo constantemente estudados (XUEYING LV, 2019).

3.5.4.2 Resultados sobre a Suspensão Hidráulica Regenerativa

A incorporação do sistema regenerativo de energia na suspensão convencional não apenas aprimora a eficiência na utilização de energia nos veículos, contribuindo para a regeneração de energia, mas também eleva o desempenho dos veículos. Combinado a pesquisa sobre a suspensão hidráulica regenerativa de energia existente em veículos, é crucial notar que, além das perdas de energia hidráulica regenerativa no processo de consumo de energia, há também perdas durante a conversão de energia mecânica em elétrica. A redução do consumo total de energia emerge como uma questão crucial. É essencial abordar a correspondência entre o sistema de suspensão de fornecimento de energia hidráulica e o sistema de energia do veículo. Ao implementar o sistema de suspensão regenerativa de energia hidráulica nos veículos, mesmo que estes disponham de uma considerável capacidade de equipamentos de armazenamento de energia, é crucial resolver o problema de compatibilidade entre os dispositivos de carga e os equipamentos de carregamento.

A pesquisa feita na universidade College of Instrumentation & Electrical Engineering mostra resultados eficientes para o protótipo adotado.

Resultados de testes realizados por Lei Zuo, alegam que a eficiência energética pode ser aumentada pelo sistema de suspensão regenerativa de energia em aproximadamente 50%

Tabela 01 – Geração de energia pelos diferentes tipos de veículos

Tipo de veiculo	Geração de energia (W)	Velocidade
Veiculo passeio	105,2W	60Km/h
Off-road	384 W	60Km/h
ônibus	1152	60Km/h

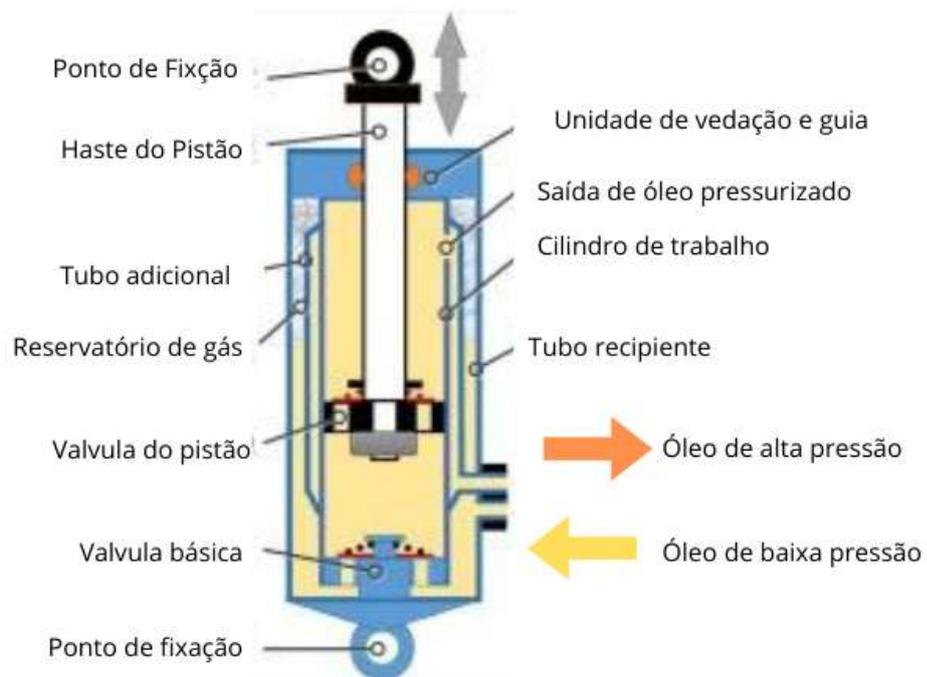
Fonte: (XUEYING LV, YANJU JI, HUANYU ZHAO, JIAOBAO ZHANG, GUANYU ZHANG, LIU ZHANG, 2019)

Tabela 02 – Redução do consumo de combustível por tipo de estrada

Tipo de Estrada	Redução de Consumo de Combustível (litro/ 100 km)
Estradas com pequenas irregularidades	0,4
Estrada com grandes irregularidades	0,7
Estradas aproximadamente planas	0,2

Fonte: (XUEYING LV, YANJU JI, HUANYU ZHAO, JIAOBAO ZHANG, GUANYU ZHANG, LIU ZHANG, 2019)

Figura 23 – Protótipo de um sistema de suspensão hidráulica regenerativa.



Fonte: XUEYING LV, 2019.

3.6 MODELAGEM MATEMÁTICA TEÓRICA

Para obtermos a melhor eficiência do sistema de suspensão veicular para geração de energia, faz-se necessário conhecimento do conceito físico de movimento harmônico amortecido, Equação 01, onde no sistema de suspensão veicular, o movimento da mola da suspensão é amortecido pela presença do pistão preenchido com um fluido, fazendo com que a cada oscilação diminua a amplitude do movimento da suspensão. E também, a lei de indução eletromagnética segundo Faraday que diz “a variação no fluxo de campo magnético através de materiais condutores induz o surgimento de uma corrente elétrica.” (RAFAEL HELERBROCK, 2012).

3.6.1 Modelagem do movimento Harmônico

Utilizando-se das fórmulas matemáticas e das equações diferenciais desenvolvidas pelos físicos Joseph-Louis Lagrange, Jean-Baptiste Joseph Fourier e James Clerk Maxwell, foi possível modelar matematicamente a melhor eficiência do sistema de suspensão veicular para geração de energia

Equação 01 – Movimento Harmônico Amortecido

$$F(t) = m \frac{d^2 x}{d t^2} + b \frac{d x}{d t} + kx$$

Constantes utilizadas no cálculo:

- m = massa presa a ponta do sistema de amortecedor (veículo)
- k = constante elástica da mola do sistema de amortecimento
- b = coeficiente de amortecimento
- x = posição de referência do cálculo
- t = tempo
- F = força externa aplicada

Equação 02 – Derivada da aceleração e da velocidade

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \text{derivada referente a aceleração}$$

$$\frac{dx}{dt} = \text{derivada velocidade}$$

Podemos simplificar essa equação da Equação 03, dividindo as igualdades da equação por “m”, resultando na Equação 03, de modo que:

Equação 03 - Simplificação da equação

$$\frac{F(t)}{m} = \frac{m}{m} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x$$

$$\frac{F(t)}{m} = \frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x$$

Onde:

Equação 04 e 05 – Equações de ω e γ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}: \text{frequência angular da oscilação [rad/s]}$$

$$\gamma = \frac{b}{2m}: \text{taxa de decréscimo da energia média}$$

Desta forma podemos encontrar a velocidade de oscilação e amplitude do movimento da suspensão a partir das Equações 06 e 07:

Equações 06 e 07 – Velocidade de oscilação e amplitude do movimento

$$x(t) = A(t) \cos(\omega t)$$

$$v(t) = -A(t) \omega \sin(\omega t)$$

Partindo destas equações é possível identificar se o movimento oscilatório da suspensão se encaixa em um destes três regimes.

- Subcrítico

O qual seria o de menor atuação do amortecedor, mantendo o movimento oscilatório por um período longo.

- Crítico

Onde não deixa ocorrer diversos ciclos de oscilações e ao chegar na amplitude máxima levará a suspensão ao ponto de equilíbrio de forma confortável.

- Supercrítico

Com uma ação forte de amortecimento, leva a suspensão ao ponto de equilíbrio de forma rápida.

Sabendo disso é possível identificar em qual nível, velocidade, força e frequência de atuação da suspensão, para melhor adequar as especificações para a fonte geradora de energia.

3.6.2 Indução de Energia

De acordo com material do Instituto de Física de São Carlos (IFSC, 2010) sobre Lei de Faraday a força eletromotriz (Fem) induzida sobre o circuito é igual à taxa de variação do fluxo magnético. A forma matemática da lei da indução foi dada em 1845 pelo físico alemão Franz Ernst Neumann, demonstrado na Equação 08:

Equação 08 – Corrente Induzida

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_s}{dt}$$

- \mathcal{E} : Força Eletromotriz (indução eletromagnética);
- ϕ : Fluxo magnético.

Sendo assim a derivada da Figura 29 é a taxa de variação de fluxo magnético que induzirá corrente no condutor. A lei de Lenz complementa a Lei de Faraday, indicando que a direção da corrente induzida é tal que ela se opõe a mudança do fluxo magnético que a gerou. Isso é representado pelo sinal negativo na equação da Lei de Faraday.

A variação do fluxo magnético ϕ , é dado através da Equação 09:

Equação 09 – Variação do fluxo magnético

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \Theta$$

- B= modulo do vetor campo magnético (intensidade do campo);
- A= área da espira perpendicular ao campo;
- Θ = angulo entre o vetor campo magnético (B) e o vetor normal á espira (n).

Para obtermos os valores de corrente induzidos na bobina do projeto, se é necessária a modificação na fórmula da Lei de Faraday, como demonstrado na Equação 10, onde:

Equação 10 – Corrente Induzida na Bobina

$$\mathcal{E} = -N * \frac{d\Phi_s}{dt}$$

- N: número de espiras da bobina.

Portanto, o processo envolve calcular a variação de fluxo magnético e multiplicado pela quantidade de espiras da bobina (n), assim obtendo a força eletromotriz. Feito isso para calcular a corrente (i), devemos utilizar a Lei de Ohm, exemplificado na Equação 11

Equação 11 – Lei de Ohm

$$V = R * I$$

- V: tensão (neste caso induzida);
- R: impedância total da bobina;
- I: corrente elétrica induzida.

4 CONSTRUÇÃO E PROTOTIPAGEM

4.1 Tecnologia adotada para o desenvolvimento do projeto

Foi escolhido a suspensão do tipo pinhão e cremalheira como foco devido aos resultados promissores e às vantagens observadas nos testes realizados na School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University. Os resultados indicaram uma eficiência mecânica significativa e uma notável capacidade de geração de energia do protótipo. Com uma eficiência máxima de 51,1% e eficiência média de 36,44%, o protótipo demonstrou a capacidade de capturar energia de vibração com eficácia. Além disso, a saída média de energia de 3,701 W em uma entrada de vibração senoidal de 1 Hz - 3 mm de amplitude é bastante promissora (ZHANWEN WAN, TIANMING ZHANG, ZUTAO ZHANG, 2019)

Os testes também sugeriram que a eletricidade gerada está positivamente correlacionada com as amplitudes e frequências, o que implica um potencial para aumentar a potência de saída ajustando esses parâmetros. A projeção de estender a autonomia dos veículos elétricos em aproximadamente 1 km a cada 100 km em estradas com muitas irregularidades a uma velocidade de 60 km/h é particularmente interessante, destacando o potencial prático dessa tecnologia para aumentar a eficiência e autonomia dos veículos elétricos (ZHANWEN WAN, TIANMING ZHANG, ZUTAO ZHANG, 2019)

No entanto, embora os resultados sejam promissores, há reconhecimento de que a eficiência global do sistema precisa ser aprimorada para torná-lo economicamente viável e competitivo em comparação com outras tecnologias de geração de energia. Isso sugere uma oportunidade de pesquisa significativa para o desenvolvimento do projeto, pois é possível concentrar no desenvolvimento contínuo e melhorias no projeto para aumentar a eficiência e a aplicabilidade desse sistema em veículos automotivos.

Portanto, a escolha da suspensão do tipo pinhão e cremalheira como tema do projeto se baseia na combinação dos resultados promissores, potencial prático para aumentar a eficiência dos veículos e na oportunidade de contribuir para o desenvolvimento dessa tecnologia, tornando-a mais competitiva e viável no mercado automotivo.

4.2 MATERIAIS E COMPONENTES

Tabela 03 – Lista de materiais e componentes

Quantidade	Item
1	Dínamo
3	Rolamento unidirecional HF0612 6X10X12mm
2	Rolamento MR106ZZ 6X10X3mm
1	Chapa de alumínio
1	Eixo de Aço 6mm
2	Engrenagens cônicas 30 dentes
1	Engrenagem cônica 15 dentes
1	Capacitor de 1000 uF
1	Regulador de Tensão de 15 V LM7815
1	Díodo de 20 V
1	Bateria Chumbo-Ácido 12V, 2.3Ah

Fonte: Autoria própria, 2024.

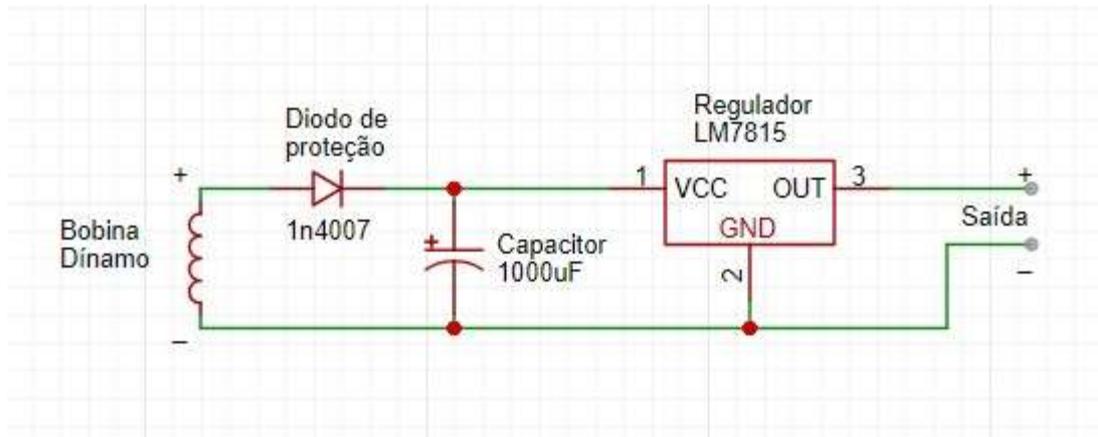
4.3 PROTOTIPAGEM

4.3.1 Conversão de sinal e controle de carga

Um sistema de regeneração de energia geralmente envolve a conversão de energia em uma direção, de energia cinética para elétrica. Ter um sistema de conversão de energia é essencial para essa operação, pois converte uma possível corrente alternada gerada durante a regeneração em corrente contínua, tornando-a compatível com a carga ou o sistema de armazenamento de energia. Isso garante uma transferência eficiente e eficaz de energia entre os diferentes componentes do sistema.

Será utilizado para o projeto como base uma fonte já existente, onde foram feitas algumas alterações para atender as necessidades para aplicação automotiva, como demonstrado na Figura 24.

Figura 24 – Modelo de circuito fonte com filtro e regulador



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3.2 Filtro capacitivo polarizado – 1000µF

O capacitor escolhido de 1000µF, está conectado em paralelo à carga e tem a função de atenuar esses pulsos. Durante os períodos de pico da tensão retificada o capacitor se carrega, armazenando energia. Quando a tensão da ponte retificadora diminui, o capacitor descarrega parte dessa energia, fornecendo uma tensão mais estável à carga.

Essa configuração ajuda a reduzir a variação da tensão média, conforme Figura 24, resultando em uma saída mais constante e próxima ao valor desejado. Isso é especialmente útil em aplicações onde uma fonte de energia mais estável é necessária, como é o caso do carregamento de baterias.

4.3.3 Regulador de tensão – LM7815

Para manter a saída da fonte estabilizada será utilizado um regulador de tensão (LM7815), o qual tem como objetivo manter a tensão de saída em até 15 V contínuo, consumindo até 1,5A de corrente máxima, por conta de características do componente.

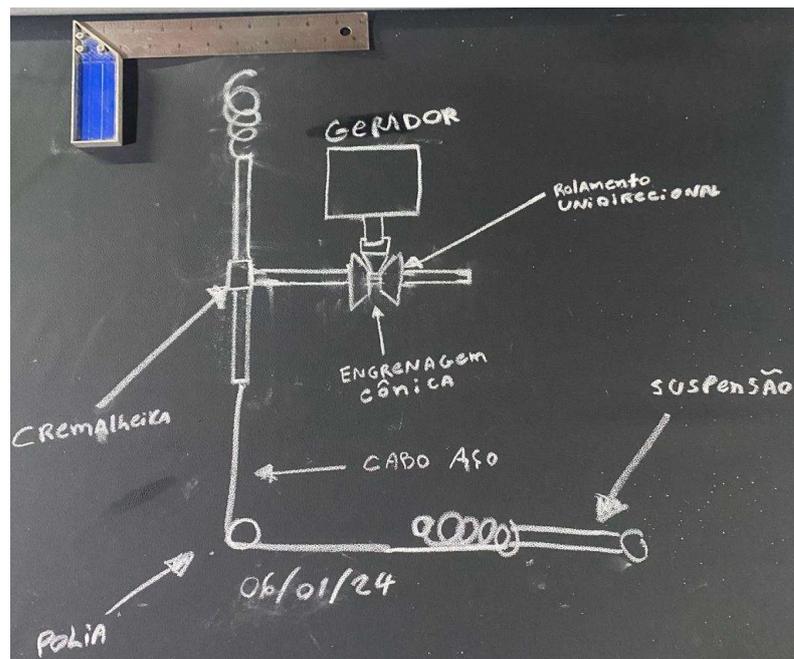
4.3.4 Díodo de proteção – 1n4007

Está sendo utilizado um diodo em série com o terminal de saída positivo, para que em caso de ligação com a bateria para realizar o carregamento, a fonte não se torne um consumidor de carga e apenas alimente a bateria.

4.3.5 Desenhos

Os primeiros esboços do projeto foram feitos em giz (Figura 25), logo se deu início a discussão de como seria transferida a energia da suspensão do veículo para o sistema de regeneração. Neste primeiro desenho o modo de transferência de movimento seria feito por um cabo de aço ligando a suspensão à cremalheira e nesta cremalheira é conectada a uma mola que faz o retorno do movimento. Uma engrenagem faz a transferência do movimento linear da cremalheira, para um movimento angular, conectado a um eixo que ligado a engrenagens cônicas instaladas sobre rolamentos unidirecionais, faz com que o movimento seja constante para o mesmo sentido, aproveitando a energia gerada em ambos os sentidos de movimentação da suspensão.

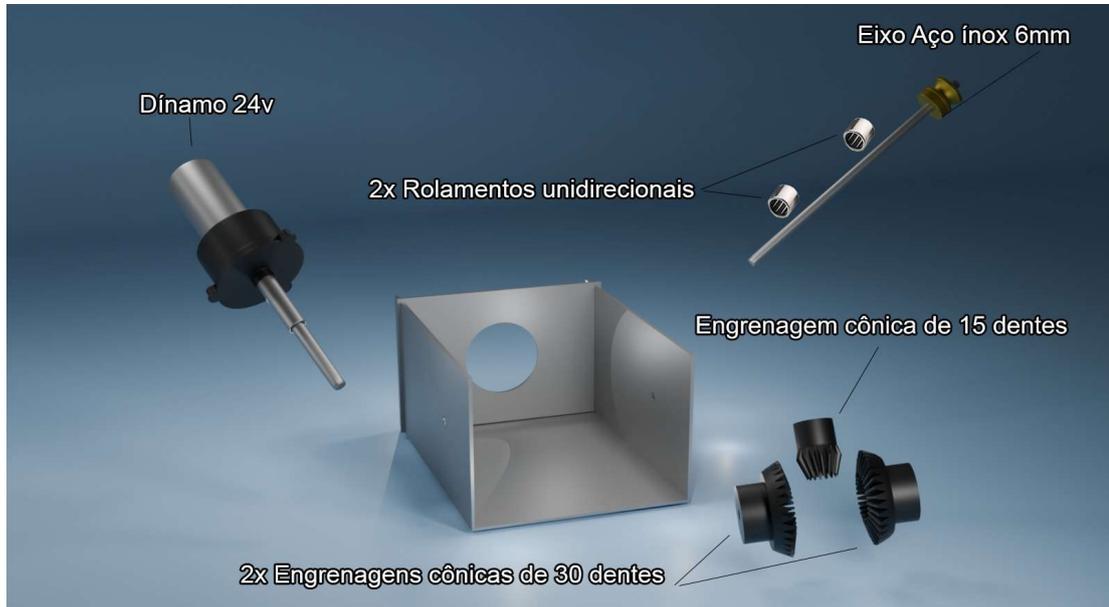
Figura 25- Desenho do protótipo de regeneração



Fonte: Autoria própria, 2024.

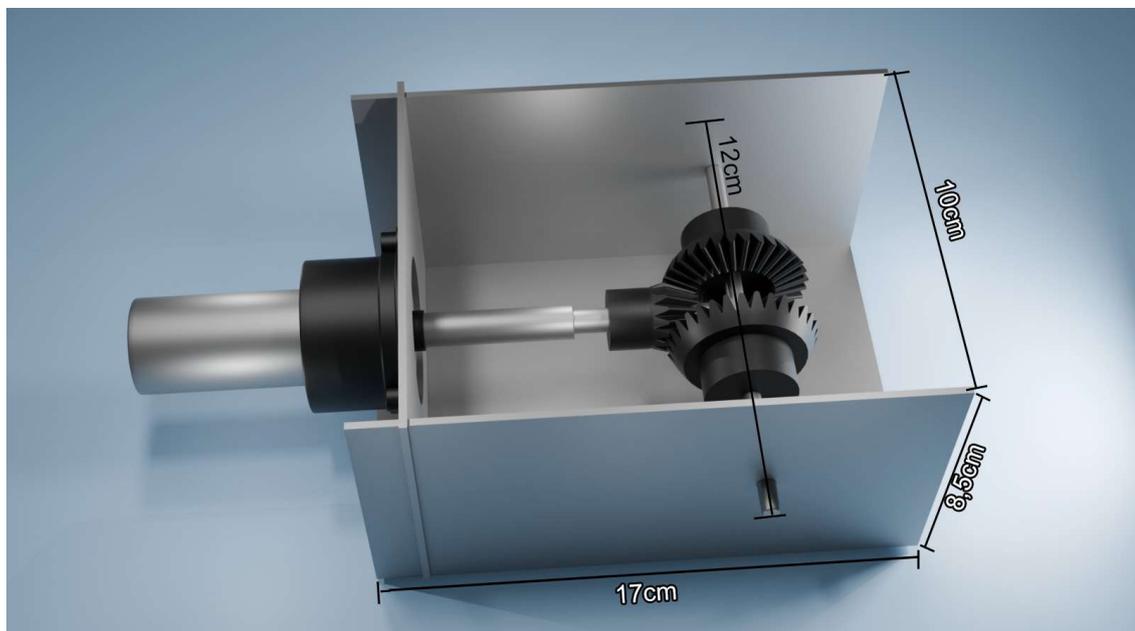
Na figura 26 e figura 27 é apresentado o projeto do sistema constituído pelos componentes indicados

Figura 26 – Protótipo do sistema em vista explodida



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 27 – Protótipo do sistema montado em vista lateral



Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3.6 Pré-montagem

Com as primeiras peças em mãos foi feito uma pré-montagem do sistema, para fazer medições e anotar como seria executado todo o projeto, podendo assim identificar quais modificações seriam feitas nas peças, pois as furações das engrenagens e dos rolamentos eram todas diferentes, já que vieram de diferentes fornecedores.

Figura 28 - Pré-montagem do protótipo

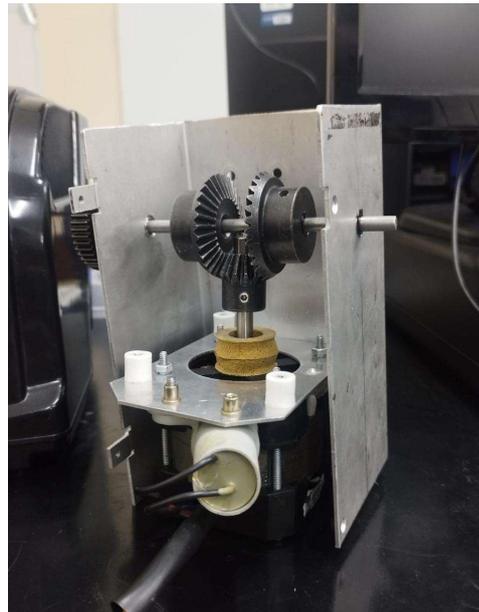


Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3.7 Montagem

A primeira montagem foi feita já com algumas modificações do projeto inicial, visando diminuição de peso e facilitar a transferência de movimento. Para a estrutura do projeto foi usado uma chapa de alumínio, por demonstrar muita resistência e um menor peso, nesta parte do projeto percebeu-se que um grande peso do sistema de cremalheira poderia atrapalhar a eficiência do projeto e que o motor que seria usado como gerador, necessitaria de uma rotação muito alta para gerar uma tensão relevante. Neste passo foram feitas modificações profundas no sistema de transferência de energia, sendo assim substituída a cremalheira por polia e gerador alternado por um dínamo.

Figura 29 - Montagem inicial do protótipo



Fonte: Autoria própria, 2024.

Com as modificações executadas, foi substituída a engrenagem por uma polia e uma correia que transforma o movimento linear em movimento angular, dessa forma o sistema ficou muito mais leve, assim fazendo com que todo o sistema afete menos a suspensão do veículo. Também foi feita a troca do motor por um dínamo, que contém uma caixa redutora, resolvendo o problema de rotação do motor anterior.

Figura 30 - Montagem mecânica do Sistema de Suspensão com Regeneração de Energia



Fonte: Autoria própria, 2024.

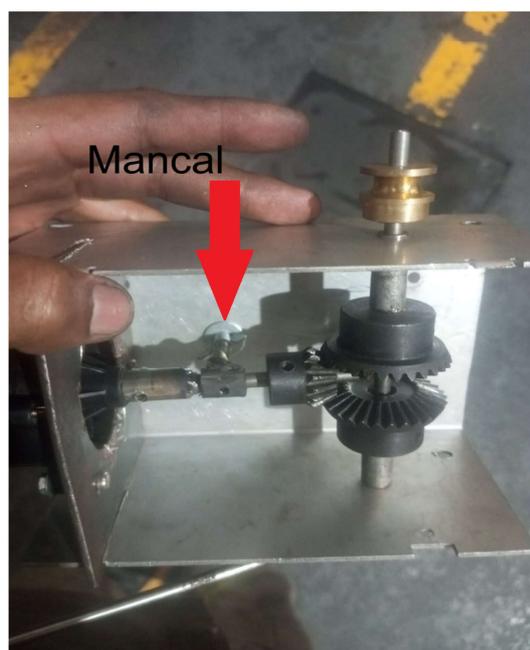
Para fixar o motor na posição correta e o manter alinhado, foi construído um suporte para ser fixo na estrutura, e um pilar de apoio com um mancal para o eixo do motor não vibrar, tornando assim o sistema de transmissão de movimento mais estável, como visto na Figura 31 e para fins de demonstração prática, foi colocada uma alavanca na lateral do eixo superior, para simular movimentos com sentidos alternados, visto na Figura 32.

Figura 31 – Pilar de suporte com mancal



Fonte: Autoria própria, 2024

Figura 32 – Alavanca fixada para teste



Fonte: Autoria própria, 2024

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES

Para a realização dos testes do dínamo, primeiramente foi utilizado um torno mecânico, onde foi preso o eixo do motor na placa de fixação de peças do torno, como visto na Figura 33 e Figura 34, para gerar uma rotação contínua a fim de mensurar qual a tensão gerada no dínamo proporcionalmente.

Figura 33 – Torno mecânico Manrod MR-302



Fonte: Autoria própria, 2024

Figura 34 – Dínamo fixado para teste



Fonte: Autoria própria, 2024

Foi decidido utilizar as menores rotações que o Torno poderia fornecer, a fim de mapear a eficiência do dínamo e calcular qual a sua rotação mínima para conseguir carregar a bateria de um veículo de passeio comum (14,7 V).

Para início, foi colocado no torno uma velocidade de 70 rpm, gerando uma tensão aproximada de 8 Volts, como ilustrado na figura 35; No teste seguinte foi utilizado a velocidade de 115 rpm, resultando em uma tensão aproximada de 13 Volts, Figura 36;

Figura 35 – Teste do Dínamo com 70 rpm



Fonte: Autoria própria, 2024

Figura 36 – Teste do Dínamo com 115 rpm

Fonte: Autoria própria, 2024



Por último foi realizado o teste com velocidade de 300 rpm, onde o dínamo foi capaz de gerar a tensão aproximada de 34 Volts e com esses valores foi possível identificar qual a rotação mínima necessária desejada.

5.2 Resultados

A partir dos resultados obtidos, reunimos os dados e identificamos, como visto na Figura 37, que para atingirmos 14,7 Volts, seria necessário que o dínamo girasse a 129,698 rpm devido a Equação 12:

Equação 12 – relação entre a tensão de saída (V) e a rotação por minuto (rpm) em um dínamo

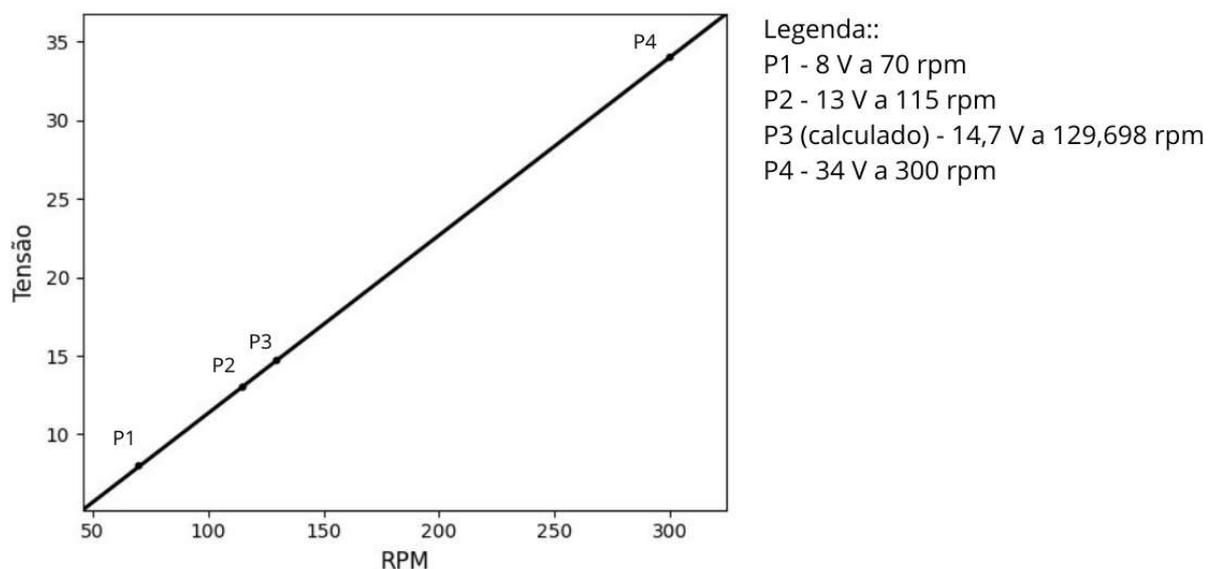
$$V = k * \text{RPM}$$

Onde:

V = volts

k = constante do dínamo

Figura 37 – Gráfico de Tensão x RPM



Fonte: Autoria própria, 2024.

5.2.1 Frequência de oscilação

O protótipo montado utilizou de uma alavanca acoplada ao eixo de entrada da transmissão que converte o movimento linear em angular, para simular o movimento da suspensão, sendo inserido no projeto apenas para fins de demonstração, podendo demonstrar o movimento linear da suspensão, de tal modo que seja possível calcular a frequência de oscilação necessária na suspensão para fornecer a velocidade necessária para obter ao mínimo 14,7 V na saída do dínamo.

Para poder calcular esta frequência, é necessário primeiro calcular o ângulo livre de oscilação na entrada do sistema da transmissão, então foi utilizado a Equação 13:

Equação 13 – Ângulo livre:

$$A = \frac{d}{2\pi r} 360^\circ$$

Onde

d: distância percorrida pela ponta externa da alavanca

A: ângulo de rotação do eixo de entrada da transmissão

r: comprimento da alavanca

Para que seja possível calcular esta frequência, é necessário saber qual o curso total da suspensão utilizada, estes valores podem variar de acordo com o tipo de veículo, marca, e modelo de suspensão utilizada, então escolheu-se medidas genéricas para utilizar como base para os cursos de suspensão.

As medidas adotadas são fictícias, podendo variar entre veículos devido a diferentes configurações de suspensão.

– Veículos de Passeio:

Distância de Curso Dianteira: 100 mm;

Distância de Curso Traseira: 100 mm;

Caminhões de carga geralmente têm uma distância de curso maior do que os veículos de passeio para lidar com cargas pesadas e proporcionar estabilidade em diferentes tipos de estradas.

– Caminhões de Carga

Distância de Curso Dianteira: 150 mm;

Distância de Curso Traseira: 200 mm;

Ônibus de passageiros têm uma distância de curso maior do que os veículos de passeio para lidar com cargas adicionais e proporcionar um passeio suave aos passageiros.

As medidas foram estipuladas, podendo variar entre veículos devido a diferentes configurações de suspensão.

– Ônibus de passageiro

Distância de Curso Dianteira: 300 mm;

Distância de Curso Traseira: 400 mm;

Para a alavanca foi definido um comprimento de 300 mm;

Para efetuar os cálculos, foi utilizado a medida da alavanca e uma única distância de curso de suspensão de 100mm, assim podemos obter um grau de liberdade de movimento :

Ângulo: $19,09859317^\circ$

Distância (d): 100 mm

Comprimento (r): 300 mm

Com o ângulo obtido a cada curso máximo de suspensão percorrido, pode-se chegar a qual frequência de oscilação necessária para obter 130 rpm na ponta do eixo da transmissão gerando os 14,7 V.

Uma volta corresponde a 360°, sabendo disso entende-se que RPM são graus por minutos dividido por 360. Isso ocorre porque existem 360 graus em uma rotação completa. Portanto, para converter os graus por minuto em rotações por minuto, divide-se os graus por minuto por 360, como visto na Equação 14:

Equação 14 – Conversão de graus/min para rpm

$$RPM = \frac{\text{Graus por minuto}}{360}$$

É necessário identificar quantos graus por minuto são necessários para chegar ao RPM desejado, portanto:

Tabela 04 – Graus por minuto = rpm * 360

Graus por minuto	RPM
46800	130

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Após deve-se calcular a frequência de oscilação necessária para ter a rotação esperada na saída da transmissão. Para calcular será utilizada uma razão, dos graus por minuto necessários, pelos graus deslocados no ciclo, isso tudo dividido por 60 (referente a um minuto) chegando frequência necessária.

A Equação para calcular os graus por minuto é demonstrada na Equação 15:

Equação 15 – Oscilação decorrente do deslocamento em graus

$$Frequência = \frac{\left(\frac{\text{° por minuto}}{\text{° por ciclo}} \right)}{60}$$

$$Frequência = \frac{\left(\frac{46800}{38,19718634} \right)}{60}$$

Resultado para obter 130 necessário para 14,7 V visto na tabela 05:

Tabela 05 – Oscilação necessária para atingir 130 rpm

Frequência de oscilações	Graus por minuto	Graus em um ciclo de oscilação
20,42035 Hz	46800 °/min	38,19718634 °

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Considerando que existe desaceleração e aceleração do movimento ao chegar em e seus limites de curso, os cálculos feitos são referentes ao valor que deve ser considerado no meio do movimento de oscilação da suspensão. Assim identificamos as condições necessárias para alcançar o resultado esperado com nosso protótipo.

6 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma inovadora maneira de recuperar energia e aumentar a eficiência energética dos veículos. Para atingir esse objetivo, foram realizados diversos testes, cujos resultados indicam uma grande possibilidade de aplicação prática desse sistema nas ruas. Os testes demonstraram resultados de notável eficiência do sistema de regeneração de energia incorporado à suspensão. No contexto do Brasil, onde a qualidade viária apresenta uma deficiência, um sistema como este pode ser aplicado em larga escala, trazendo benefícios substanciais.

Ideias inovadoras como essa têm o potencial de transformar o futuro do setor automobilístico, tornando-o mais amigável ao meio ambiente. A implementação de tecnologias de recuperação de energia pode resultar em uma significativa redução da emissão de poluentes e no consumo de combustíveis fósseis, promovendo uma mobilidade mais sustentável. Com a adoção em larga escala dessas tecnologias, espera-se que as futuras gerações possam desfrutar de uma melhor qualidade de vida. Assim, o desenvolvimento e a implementação de sistemas como o pesquisado não só melhoram a eficiência dos veículos, mas também se alinham com os objetivos globais de preservação ambiental e combate às mudanças climáticas.

Os resultados apresentados no trabalho demonstram que é possível se utilizar este sistema nos veículos, com um grande potencial de regeneração de energia, com uma média de 14,7 volts na área de maior aceleração com 130 rpm no dínamo, onde se for utilizado nas 4 suspensões de um veículo leve ou até mesmo em uma carreta rodotrem com 9 eixos, esta tensão gerada pode ter um aumento significativo na autonomia dos veículos, e com melhorias no projeto, pode se obter resultados melhores do que os testados no projeto.

Com o trabalho realizado integralmente, o objetivo foi atingido onde se mostrou possível gerar energia a partir de um movimento linear, o estudo trouxe um sistema com potencial de uso e pesquisa em busca de melhorias, desta forma o protótipo funcionou e trouxe resultados positivos.

7 Propostas Futuras

Possíveis melhorias para aprimorar o desempenho do projeto podem ser realizadas, como no dínamo, usar um gerador de maior capacidade para aumentar a tensão de saída, durabilidade dos componentes como rolamentos de maior qualidade, assim aumentando a durabilidade do protótipo, calcular o quanto este sistema altera a suspensão como o amortecimento e o próprio peso, desenvolver uma maneira de transferir a energia da suspensão para o sistema, buscar um local onde este sistema ficaria no veículo, executar testes de resistência do sistema e testar o sistema em campo, ou seja, instalar em um veículo real em um campo de testes em diversos tipos de pavimentos, fazendo com que seja vista a real eficiência do sistema em uma operação real.

8 REFERÊNCIAS

CHAGAS, L. G.; URBANO, A.; SCARMINIO, J. **Princípios Físicos e Químicos de Baterias de Íon Lítio**. 2006. Universidade Estadual de Londrina, Londrina. Disponível em: <<http://www.uel.br/cce/fisica/sefis/xisefis/arquivos/resumos/r44.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

DA SILVA, R. H. V. **Análise Dinâmica de uma Viga com Material Piezoelétrico Aplicando o Método de Elementos Finitos**. 2018. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Disponível em: <https://sites.ufop.br/sites/default/files/lavisi/files/tcc_-_romulo_h.pdf?m=1544378095>.

Acesso em: 04 maio 2024.

GERI, G. **Suspensão de carros: saiba o que é, como surgiu e como funciona desde os primórdios**. 2021. Disponível em: <<https://carsughi.uol.com.br/2021/04/suspensao-de-carros-saiba-o-que-e-como-surgiu-e-como-funciona-desde-os-primordios/>>. Acesso em: 10 out. 2023.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics - Thomas D. Gillespie**. 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1289/ehp.1408989>>. Acesso em: 10 out. 2023.

HELERBROCK, R. **Lei de Faraday**. 2012 Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-faraday.htm>>. Acesso em: 10 out. 2023.

INSTITUTO DE FISICA DE SÃO PAULO. **Lei da Indução de Faraday**. 2010. Disponível em: <<https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/11-LeideInducaodeFaraday.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

JOCAR. **O que é suspensão McPherson?**. 2020. Disponível em: <<https://blog.jocar.com.br/o-que-e-suspensao-mcpherson/>> Acesso em: 20 nov. 2023.

LENZ, A. L. **Veículos Elétricos - Os Carros Verdes - Emissão "Zero" de Carbono - Tecnologias e Empreendimentos**. 2012. Disponível em: <<https://automoveiseletricos.blogspot.com/2012/07/tipos-de-veiculos-hibridos-e.html>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

MECCIA, C. **Molas, o balanço necessário**. 2015. Disponível em: <<https://autoentusiastas.com.br/2015/07/mol-as-o-balanco-necessario/>>

NEOCHARGE. **NEO CHARGE CELEBRA 2023 DE GRANDES AVANÇOS DO SETOR E CRESCIMENTO ACELERADO NO FINAL DO ANO**

Disponível em: <<https://www.neocharge.com.br/blog/perspectiva-crescimento-neocharge-2024>> Acesso em: 23 nov. 2023.

ORTIZ, J. V. **Amortecedor Magnético Regenerativo para Veículos Elétricos**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2441/Jos%C3%A9_Victor_Ortiz_TCCGRAD_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 set. 2023.

OLIVEIRA, R. V. M. **Amortecedor Magnético Regenerativo para Veículos Elétricos**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2012.

PERLINGEIRO, A. R; PIMENTA, G. M; SILVA, S. E. **GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MATERIAIS PIEZOELÉTRICOS**. 2016. Disponível em: < >. Acesso em: 26 nov. 2023.

RAMADASS, Y. K.; CHANDRAKASAN, A. P. **An Efficient Piezoelectric Energy Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor**.

2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5357551>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

SIKORKA, G. **Conceito vetorial eco-cidade e vida suburbana. Carga de carro elétrico na estação do carregador. Eletromobilidade e-motion. Paisagem urbana.** 2018. Disponível em: <<https://depositphotos.com/br/vector/vector-concept-eco-city-and-suburban-life-electric-car-charging-at-the-charger-station-electromobility-199572616.html>> Acesso em: 20 jan. 2024

SISTEMAS E TECNOLOGIA APLICADA. **Como Funciona Uma Bateria De Lítio Íon.** 2021. Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/como-funciona-uma-bateria-de-litio-ion>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

WERLANG, R. B. **A FÍSICA DOS PNEUMÁTICOS.** 2013. 14 f. Dissertação. Universidade Federal do Pampa do Campus de Caçapava do Sul. Rio Grande do Sul, 2013

WIKI AUTOMATION BRASIL, **Partes e ajustes da suspensão.** 2014. Disponível em:<https://automationbrasil.fandom.com/pt-br/wiki/Partes_e_ajustes_da_suspens%C3%A3o> Acesso em: 20 jan. 2024.

ZHANG, G.; LV, X.; ZHAO, H. **Research Review of a Vehicle Energy-Regenerative Suspension System.** 2020. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/2/441>>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZHANG, Y; ZHAN, M; GUO, K. **Study on a novel hydraulic pumping regenerative suspension for vehicles.** Journal of the Franklin Institute. Pennsylvania. 2 fev. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016003214001768?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ZUO, Lei. **A Novel Energy Regenerative Shock Absorber.** 2015. Disponível em: < <https://contest.techbriefs.com/2015/entries/automotive-transportation/5595>>. Acesso em: 25 nov. 2023.