

Suspensão automotiva com controle de amortecimento automático

Automotive Suspension with automatic damping control

Danilo Augusto Machado Alves¹, Danilo Sampaio², Gustavo Vinicius Terra³, Kaique Paz Correia de Medeiros⁴, Mateus Antonio Santos de Lima⁵, Thiago Barros do Carmo⁶, Luís Gustavo de Mello Paracêncio⁷

Universidade Paulista – UNIP – Sorocaba

Instituto de ciência e tecnologia – ICET – Aluno de Engenharia de Controle e Automação (Mecatrônica).

daniiloaugusto4242@gmail.com, danilo.sampaiotv@gmail.com, gustavo_terra@ymail.com,
kaique.paz97@gmail.com, mateus.sdlimaa@gmail.com, thiago_rev@hotmail.com,

luis.paracencio@docente.unip.br

Resumo. O sistema de suspensão com controle de amortecimento automático tem como objetivo proporcionar maior aderência do veículo a pista com maior segurança e conforto para os passageiros. O sistema conta com um atuador hidráulico (amortecedor) sendo o ajuste regulado por válvulas internas, ou seja, quanto mais fechada às válvulas maior será a pressão dentro da câmara resultando em uma suspensão mais dura. A diferença desse sistema em comparação a modelos já existentes no mercado será o controle automático introduzido na regulagem da válvula interna. O sistema de ajuste será controlado com valores predeterminados para cada tipo de pavimento.

Palavras-chave: Suspensão Automotiva, Controle de amortecimento, Controle de estabilidade.

Abstract. *The suspension system with automatic damping control aims to provide greater vehicle grip on the track with greater safety and comfort for passengers. The system has a hydraulic actuator (damper) and the adjustment is regulated by internal valves, ie the closer to the valves the greater the pressure inside the resulting chamber and a harder suspension. The difference of this system compared to models already in the market will be the automatic control introduced in the regulation of the internal valve. The adjustment system will be controlled with default values for each floor type.*

Key words: *Automotive Suspension, Damping control, Stability Control.*

**Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística
Edição Temática em Tecnologia Aplicada**

Vol. 8 no 2 – Setembro de 2019, São Paulo: Centro Universitário Senac
ISSN 2179-474X

Portal da revista: <http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/>

E-mail: revistaic@sp.senac.br

Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição-Não Comercial-SemDerivações 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Internacional 

1. Introdução

Por muito tempo com o avanço da indústria automobilística, os carros foram sendo aprimorados, passando de simples veículos que atingiam 16 km/h para chegarem aos mais atuais que atingem até 440 km/h.

Sua utilização passou a ganhar muita importância na sociedade, principalmente pela excelência da mobilidade que ele trazia, ou seja, garantindo que as pessoas conseguissem chegar aos lugares distantes em um curto período de tempo.

O sistema de suspensão tem como principal objetivo manter as rodas em contato com o solo, além disto é considerado a necessidade de estabilidade e direção do veículo. A escolha do tipo de suspensão deve ser adequada em relação a sua finalidade, nos carros de competição o conforto é sacrificado para que seja possível obter uma condução mais rápida e precisa e se tenha uma boa estabilidade, já no caso dos veículos de passeio o intuito é ter um equipamento seguro e que consiga trazer o máximo de conforto possível para os ocupantes do automóvel. (PRIZENDT,1992).

O objetivo deste projeto é automatizar uma suspensão já existente, ou seja, fazer com que ela se adapte as vias em que o veículo está sendo conduzido, com isso e apresentado os principais objetivos e também a razão pela qual foi escolhido esse tema.

Posteriormente são detalhados todos os componentes que compõem este projeto, separando os mesmos em classes distintas (Mecânicos, Elétricos e Eletrônicos), após é demonstrada a programação para que o sistema funcione automatizado, onde foi desenvolvido um fluxograma para demonstrar o método de programação (figura 23).

Logo após será exposto todo o desenvolvimento onde é demonstrado o fluxograma de funcionamento (figura 24) e também descrito o funcionamento do projeto como um todo.

A próxima etapa é analisar e resultados esperados, para que possa comprovar a eficiência do produto, e por fim é realizada a análise concreta dos dados e com os resultados obtidos é feito o encerramento do projeto.

2. Objetivos

Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo automatizar o atual sistema de suspensões veiculares, pois a grande maioria dos veículos possui um sistema de suspensão passivo, na qual o fator de amortecimento é pré-definido em seu desenvolvimento, onde muitas vezes, é projetada de forma otimizada.

Neste contexto desenvolveu-se uma suspensão veicular semelhante ao funcionamento de uma suspensão ativa, onde será possível alterar o fator de amortecimento de forma automática, para isso foi realizado uma análise de literatura e desenvolvido uma lógica que permite que seja controlada a pressão interna da suspensão para que o sistema se adapte a qualquer tipo de pavimento e que o veículo ganhe mais estabilidade, segurança e conforto durante o percurso para seus ocupantes.

Objetivo específico

- a) Aplicar um produto de forma eficiente
- b) Melhorar o sistema de amortecimento
- c) Aumentar o conforto do usuário e a estabilidade do veículo
- d) Fazer com que uma suspensão diferenciada possa ser acessível
- e) Ter um produto inovador no mercado

Justificativa

O projeto a ser realizado foi idealizado com o intuito melhorar um produto já existente e fazer com o mesmo consiga ter sua regulagem de pressão de maneira automática, de forma a fazer com que através desta regulagem o amortecedor fique mais enrijecido ou mais macio ao rodar do veículo, para que assim o mesmo venha a transmitir maior conforto para os ocupantes do mesmo.

Assim, o grande objetivo desse projeto é fazer com uma suspensão que ajuste o amortecimento de acordo com o tipo de via, que relativamente possui um alto custo possa vir a ter um valor acessível para o cliente final.

3. Metodologia e Materiais

Para realização deste projeto foi adotado um procedimento metodológico descritivo e analítico, pois com eles é possível demonstrar todas as características do produto que está em desenvolvimento neste projeto.

O processo metodológico utilizado neste projeto visa demonstrar uma suspensão com controle de amortecimento automatizado, onde é utilizado um amortecedor com regulagem de pressão manual, que foi incrementado com um sistema de controle personalizado que tem como objetivo fazer com que a suspensão se adeque ao tipo de via pelo qual o veículo está trafegando.

Assim a pesquisa deste produto é considerada uma pesquisa descritiva analítica, porque ela busca descrever uma série de informações que são impactantes para conseguir desenvolver o projeto e mostrar a sociedade o porquê precisa de determinado tipo de produto.

Como exemplos de pesquisa descritiva pode-se citar os estudos de caso, análise documental e pesquisa ex-post facto, assim uma pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisa onde este tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS,1987). Para Triviños, os estudos descritivos podem ser criticados porque pode existir uma descrição exata dos fenômenos e dos fatos, em que fogem da possibilidade de verificação através da observação, ainda sim na visão de Triviños as vezes não existe por parte do pesquisados um exame crítico das informações e os resultados podem se tornar equivocados.

Por também ser uma pesquisa analítica, ela se enquadra em uma pesquisa quantitativa que envolve uma avaliação mais aprofundada das informações coletadas no presente estudos, na tentativa de explicar o contexto de um fenômeno no âmbito de um projeto. O que difere o estudo analítico do descritivo é a forma de estudo do mesmo, onde fazer previsões para a população de onde a amostra foi coletada e fazer interferências estatística para aplicação deste estudo. (FONTELLES, SIMÕES, FARIAS, 2009).

Para isto foi utilizado um protótipo, onde o mesmo simula totalmente a função de uma suspensão de um carro de passeio, assim ele é constituído basicamente por um amortecedor com regulagem de pressão, uma mola especial dimensionada especialmente para tal projeto, um kit de controle que é composto por um Arduino uno R3, 2 sensores de vibração SW-420, drive controle de motor de passo A4988 ,um motor de passo Nema 17 , 1 bateria de 9v , 1 bateria de 12v, cabos revestidos com termo retrátil para maior segurança e um conjunto de acionamento para ajuste da pressão do amortecedor que é composto por uma chave allen 3 tipo Bits e um acoplamento que foi escolhido para encaixar no eixo do motor de passo que é de 5 mm e no bits da chave allen 3 que é de 8mm, o acoplamento é fabricado em alumino para assim possuir um bom custo benefício e oferecer alta durabilidade.

Materiais Mecânicos

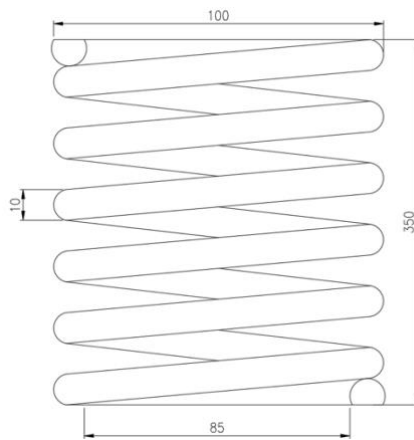
Os materiais utilizados neste protótipo de suspensão, foram divididos em 3 grupos (materiais mecânicos, elétricos e eletrônicos), para que fosse possível assim distinguir de forma mais objetiva a função de cada tipo de conjunto. O conjunto mecânico é composto pelo amortecedor com regulagem de pressão representado pela figura 01(o funcionamento deste amortecedor possui um sistema interno que faz com que possa ser realizada a regulagem da pressão do óleo, está regulagem de pressão do óleo é feita através de um parafuso sextavado M3 que está na parte superior do amortecedor, que ao ser movimentado faz com que a válvula interna do amortecedor feche ou abra, assim permitindo mais ou menos o fluxo do óleo), pela mola especial representada pela figura 02 (está mola é especial, pois possui dureza, número de espiras ativas e constantes especiais, neste caso a mola é fabricada com aço carbono classe C, possuindo um comprimento total de 350mm, com 6 espiras ativas e possui o diâmetro do arame de 10mm, o diâmetro externo da mola é de 100mm, o diâmetro interno é de 85mm e por fim enrolamento a direita), já o acoplamento representado pela figura 03 é responsável por interligar o eixo do motor a chave allen 3 e assim a chave allen 3 tipo bits representada pela figura 04 tem como função realizar o ajuste de pressão necessária, o suporte de sustentação do motor de passo representado pela figura 05 é fabricado em chapa de alumínio com espessura de 2mm e tem como objetivo evitar que o motor fique em balanço e acabe comprometendo o funcionamento do mesmo e o último item do conjunto mecânico é a caixa de armazenamento representada pela figura 06, que tem a função de armazenar todos os itens de controle.

Figura 01 – Amortecedor com regulagem de pressão



Fonte : AS Suspensões - <https://www.assuspensoes.com.br/>. Acesso em 15/04/2019

Figura 02 – Mola Especial



Fonte: Próprios Autores – 2019

Figura 03 - Acoplamento



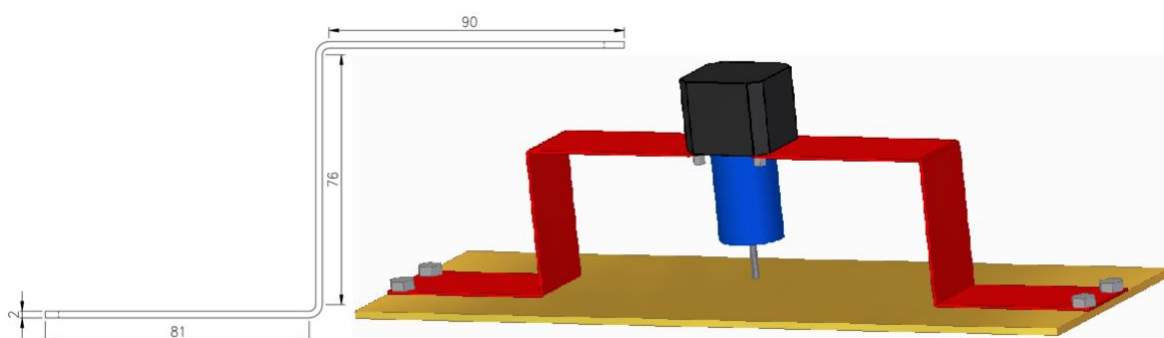
Fonte: Flip Flop - <https://www.filipeflop.com/produto/acoplamento-flexivel-para-motor-de-passo-5x8mm/#tab-accessories>. Acesso 14/04/2019

Figura 04 – Chave allen 3 tipo bit



Fonte: Loja do mecânico - <https://www.lojadomecanico.com.br>. Acesso em 12/04/2019

Figura 05 – Suporte do motor de passo



Fonte: Próprios Autores – 2019

Figura 06 – Caixa de armazenamento



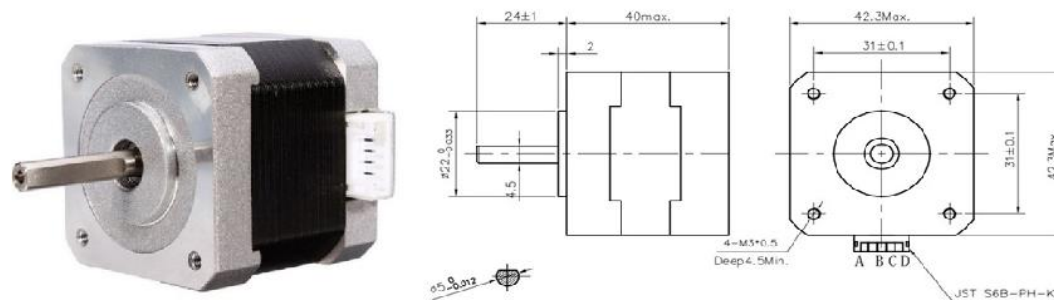
Fonte: Multi Logica Shop - <https://multilogica-shop.com>. Acesso 14/04/2019

Materiais Elétricos

O grupo de materiais elétricos é composto pelo motor de passo nema 17 que está sendo representado pela figura 07 e tem como função realizar o ajuste de pressão do amortecedor de acordo com a informação recebida do conjunto de controle e neste grupo de materiais também estão as baterias responsáveis pela alimentação, a bateria de 9v representada pela figura 08 é responsável por alimentar o arduino que está sendo representado pela figura 10, onde o mesmo

deve possuir uma tensão de 9v para perfeito funcionamento e a bateria de 12v é responsável por alimentar o motor de passo nema 17, toda a interligação dos componentes elétricos e eletrônicos pode ser vista no diagrama de interligação ilustrado pela figura 17.

Figura 07 – Motor de passo nema 17



Fonte: Curto Circuito - https://www.curtocircuito.com.br/motor-de-passo-nema-17-4-8-kgf-cm-1-0a.html?gclid=EAlalQobChMIsZKvgY-g4glVkJkOmaCh2SLwkvEAQYASABEgJYsfD_BwE. Acesso 14/04/2019

Figura 08 – Bateria de 9v



Fonte: Duracell - <https://www.duracell.com.br/products/9v/>. Acesso em 05/04/2019

Figura 09 – Bateria 12v



Fonte: UNIPOWER - <https://unipower.com.br/categoria-produto/produtos/baterias/bateria-selada/>. Acesso em 05/04/2019

Materiais de Controle

Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística - Vol. 8 nº 2 - Setembro de 2019
Edição Temática em Tecnologia Aplicada

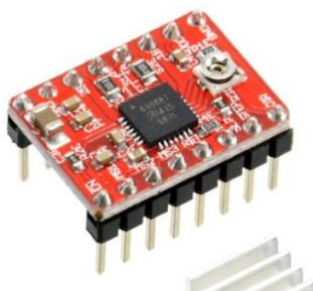
No grupo de materiais de controle estão alocados o arduino representado pela figura 10 que é responsável por controlar todos os materiais que estão interligados a ele e também responsável por armazenar a programação do sistema, representado pela figura 11 o driver de controle a4988 é responsável por controlar o motor de passo, demonstrado pela figura 12, o sensor de vibração SW-420 fica responsável por detectar a oscilação que o conjunto de suspensão sofre e envia esta informação para o Arduino.

Figura 10 – Arduino Uno R3



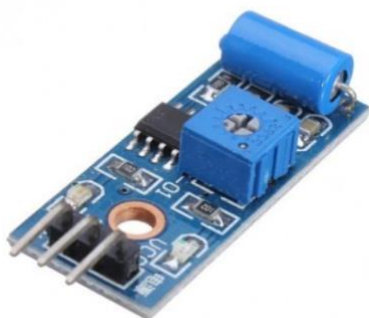
Fonte: Bau da eletrônica - <http://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html> . Acesso em 30/03/2019

Figura 11 – Driver A4988



Fonte: Baú da Eletrônica - <http://www.baudaeletronica.com.br/driver-de-motor-de-passo-a4988-pololu.html> . Acesso 14/04/2019

Figura 12 – Sensor de vibração SW 420



Fonte: Baú da Eletrônica - <http://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-vibrac-o-sw-420.html> . Acesso 14/04/2019

Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística - Vol. 8 nº 2 - Setembro de 2019
Edição Temática em Tecnologia Aplicada

4. Sistemas oscilantes

Um sistema oscilante amortecido simples ideal é basicamente um oscilador em que a força de atrito, força dissipativa e resistência do ar não são atuantes, ou seja, existindo uma conservação de energia.

Contudo nos osciladores reais as forças externas interferem no funcionamento do oscilador, fazendo com que seja reduzida a energia mecânica do sistema, ocasionando uma redução na amplitude do oscilador, denominando-se oscilações amortecidas.

Essas oscilações amortecidas podem denominar-se em:

- Oscilações amortecidas subcríticas: em que as amplitudes sofrem uma variação de diminuição de acordo com curva exponencial do sistema
- Oscilações amortecidas críticas: em que o oscilador estabiliza na posição de equilíbrio, portanto não se tem nenhum ciclo no sistema.
- Oscilações amortecidas supercríticas: em que o oscilador estabiliza antes de alcançar a posição de equilíbrio, ocasionando que não tenha nenhum ciclo no sistema.

Com base no estudo apresentado pode se dizer que o projeto em questão pode ser denominado um sistema com oscilações amortecidas subcríticas, por apresentar grandes variações de oscilações que acontecem no decorrer do funcionamento.

5. Características de Construção

O projeto da suspensão com controle automático de amortecimento (figura 13 a 16) é bem simples e objetivo, tem como principal característica automatizar um amortecedor com controle manual de pressão, onde ao receber um sistema de controle a suspensão passara a conseguir se adaptar ao tipo de via em que o automóvel esteja trafegando.

Para realizar a implementação deste processo de controle no amortecedor é necessário primeiramente um amortecedor com regulagem interna de pressão de óleo que está sendo representando pela figura 01 (o sistema interno basicamente se constitui em uma válvula reguladora de fluxo, que permite a maior ou menor passagem de óleo internamente), ao possuir tal amortecedor posteriormente é necessário uma mola especial (figura 02), que é dimensionada especialmente para tal projeto, pois é fabricada com características específicas, ou seja, ela é feita para suportar cargas maiores e reagir de forma diferenciada na absorção de amortecimento no conjunto de suspensão.

Após estes dois produtos do sistema de suspensão já estarem prontos é necessário fabricar um sistema de acionamento, para que seja possível realizar o ajuste da pressão do amortecedor, este conjunto de acionamento é constituído por 2 itens, que no caso são o Acoplamento (figura 03) e a chave Allen 3 tipo bits (figura 04), o acoplamento terá que acoplar o motor Nema 17 (figura 07) com eixo de 5mm no bits na chave allen 3 (figura 04) com diâmetro de 8mm, após este conjunto de acionamento for confeccionado o mesmo será fixado na parte superior do amortecedor.

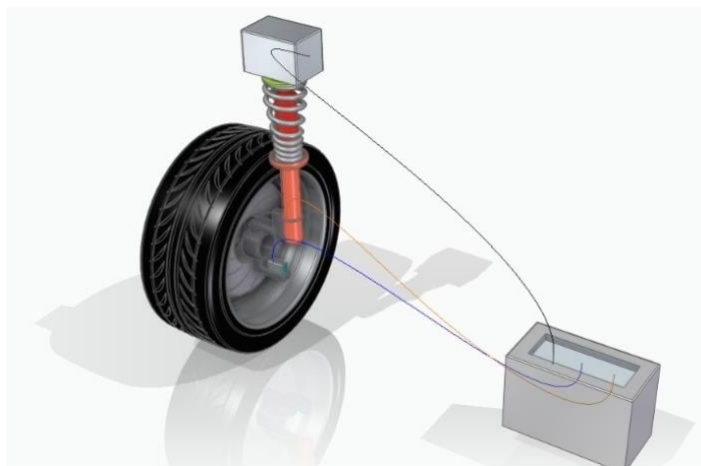
A parte de controle do projeto se resume basicamente em fazer com que o motor de passo Nema 17 (figura 07) consiga através de controle pré-programado fazer correção através de um sistema controlado por um Arduino Uno R3 (figura 10) é alimentado por uma bateria de 9v (figura 08). Conectados ao Arduino estão o Driver de controle A4988 (figura 11) que é o responsável por controlar a velocidade e os passos do motor de passo, que está conectado também o sensor de Vibração SW420 (figura 12), que é fixado no cubo da roda do veículo para que seja possível detectar a variação de vibração que a roda do veículo está sofrendo, após o sensor de vibração realizar a análise o mesmo irá enviar este sinal para o Arduino uno R3 (figura 10), onde o mesmo iria realizar uma checagem em sua programação realizada em linguagem C e irá escolher um parâmetro para o ajuste da suspensão, após o Arduino determinar este ajuste o mesmo, irá enviar um sinal para o driver de controle A4988 (figura 11) , para que informe ao motor de passo quantos passos deve dar para que a pressão de amortecimento seja a melhor possível de acordo com a programação, toda a interligação dos instrumentos elétricos e eletrônicos está sendo demonstrada através da figura 17.

Após todo o conjunto de controle estar confeccionado, o motor é encaixado no acoplamento e fixado junto ao acionamento mecânico do amortecedor, para que seja possível o sistema receber os devidos comandos, após o motor estar fixado no acoplamento o mesmo irá receber dois suportes laterais (figura 05) confeccionados em chapa de alumínio de 2mm, onde possui 4 furos no tamanho de 3mm que serão utilizados para fixar o conjunto na caixa de roda do veículo e assim após este procedimento é realizada toda a proteção dos cabos que interligação os sistema de controle através de um revestimento chamado de temo retrátil e após tudo estar em seu devido local o sistema e checado para ver se ele está totalmente fixo na estrutura do veículo em que está instalado e assim o sistema da suspensão com controle de amortecimento automatizado está instalado.

Desenhos do Protótipo

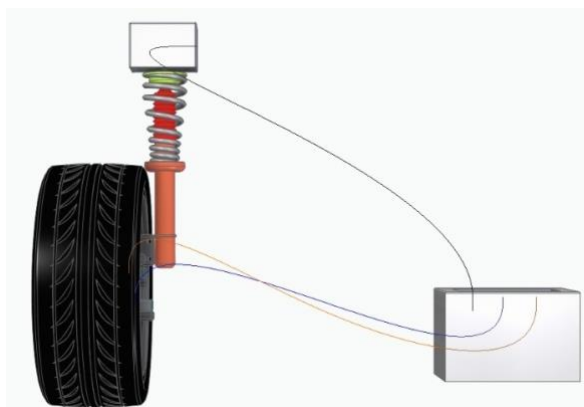
É possível visualizar através das figuras 13 a 16, que para o projeto inicial o sistema foi desenvolvido somente em cima de uma única roda do veículo, onde na figura 13 está representado a vista isométrica do sistema assim podendo ser visualizado o amortecedor com regulagem da pressão e a mola especialmente desenvolvida para o sistema e também sobre o amortecedor é possível visualizar todo o conjunto de acionamento do sistema (este conjunto é composto pelo motor de passo nema 17, pelo acoplamento, chave allen 3 tipo bit e pelo suporte de sustentação do motor), no cubo onde está conectada a roda do veículo ao amortecedor pode-se ver 2 sensores destacados em verde, que estão representando os sensores de vibração e ao lado de todo o conjunto de suspensão pode-se ver a caixa de armazenamento dos componentes que é onde estão alocados todos os componentes. Por sua vez nas figuras 14 , 15 e 16 é possível visualizar o sistema por outras vistas que acabam por possibilitar um melhor entendimento do projeto por um todo.

Figura 13 – Vista Isométrica



Fonte: Próprios Autores – 2019

Figura 14 – Vista Frontal



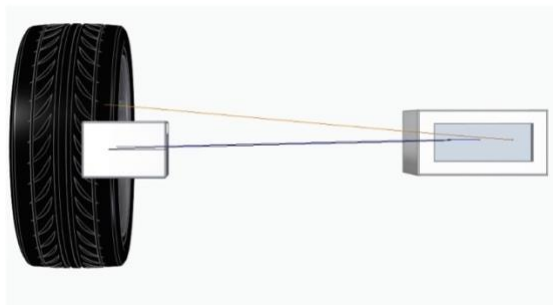
Fonte: Próprios Autores – 2019

Figura 15 – Vista Lateral



Fonte: Próprios Autores - 2019

Figura 16 – Vista Superior

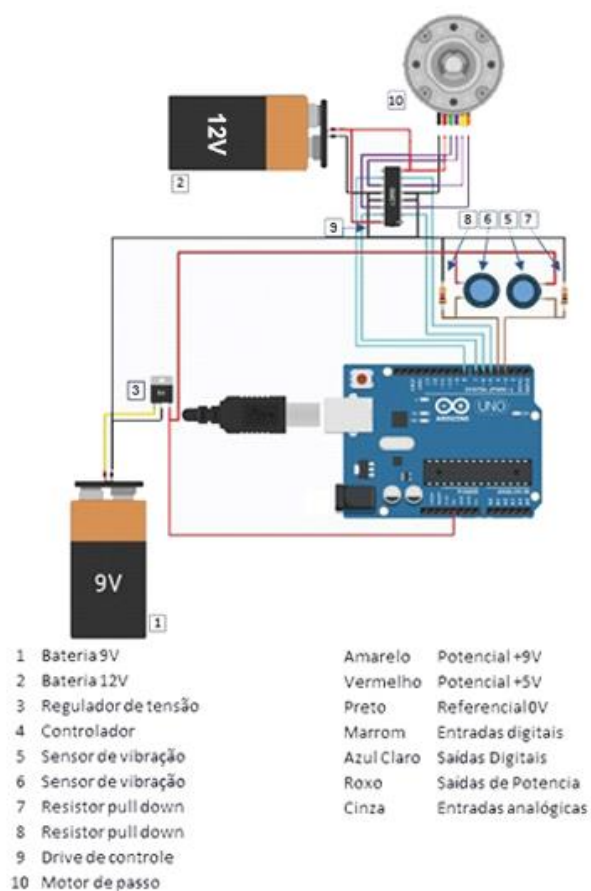


Fonte: Próprios Autores – 2019

Interligação do sistema Elétrico Eletrônico

O diagrama de interligação demonstrado na figura 17, tem como objetivo mostrar a interligação de todos os instrumentos elétricos e eletrônicos do projeto, com ele é possível visualizar que o arduino é o principal componente de funcionamento de controle do sistema, pois nele estão conectados o driver de controle do motor de passo que por sua vez conecta o motor de passo nema 17 ao sistema de controle, no arduino também está conectado o sensor de vibração do sistema, a bateria 9v (que é responsável por alimentar o próprio arduino), então no diagrama de interligação pode-se ver um panorama geral de como está interligado todo o sistema de controle e elétrico do conjunto de suspensão.

Figura 17 – Diagrama de interligação Elétrico Eletrônico

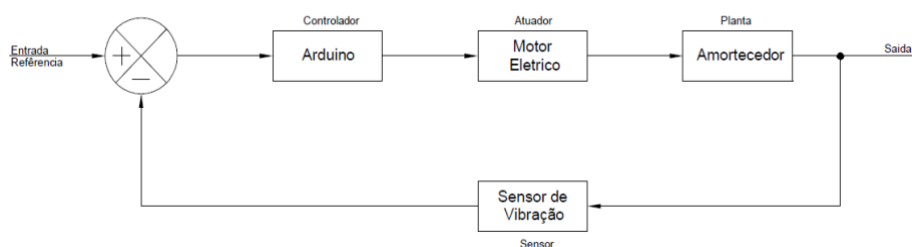


Fonte: Próprios Autores – 2019

6. Método de controle do sistema

Para realizar uma análise geral do sistema de controle fez se necessário a apresentação de um diagrama de blocos geral que está sendo representado pela figura 18.

Figura 18 – Diagrama de blocos geral

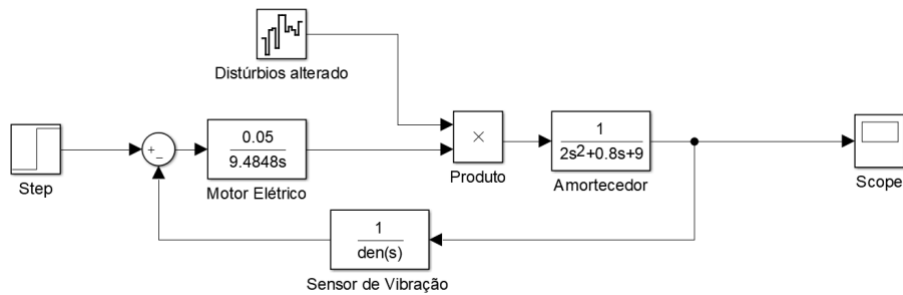


Fonte: Próprios Autores – 2019

Sendo a entrada do sistema em degrau unitário (1/s), seguindo de um somador ligado sucessivamente ao motor elétrico seguido ao amortecedor. Antes que o sinal vá para a saída, existe um ponto de ramificação que liga o sensor de vibração, sendo ele ligado ao somador a uma entrada negativa, no final ligado ao bloco de saída que gerará o gráfico que representa o sistema

completo. Com o teste realizado sem distúrbios que estão sendo representados pela figura 19 e 20, fez-se necessário implementar um diagrama de blocos para que fosse possível gerar possíveis distúrbios que podem influenciar na resposta ao controle.

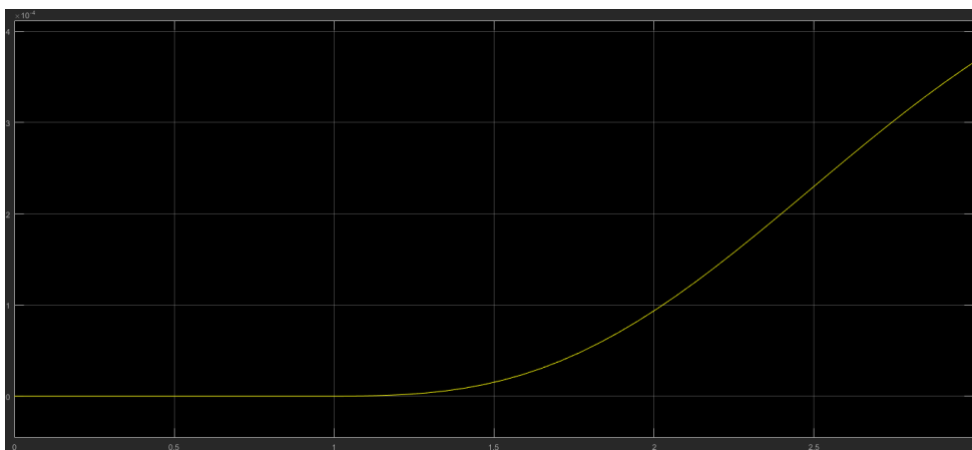
Figura 19 - Diagrama de blocos sem controle e com distúrbios



Fonte: Próprios autores - 2019

Com a implementação do bloco de geração de distúrbio (nota-se inicialmente que o sistema que antes era crescente e constante agora ele inicia-se com um valor neutro em relação as oscilações e só a partir do 1,5s começa a ter um aumento. Sendo que até os 3s ele ainda está apresentando um crescente aumento, portanto acaba não tendo tempo para alcançar uma estabilização no sistema.

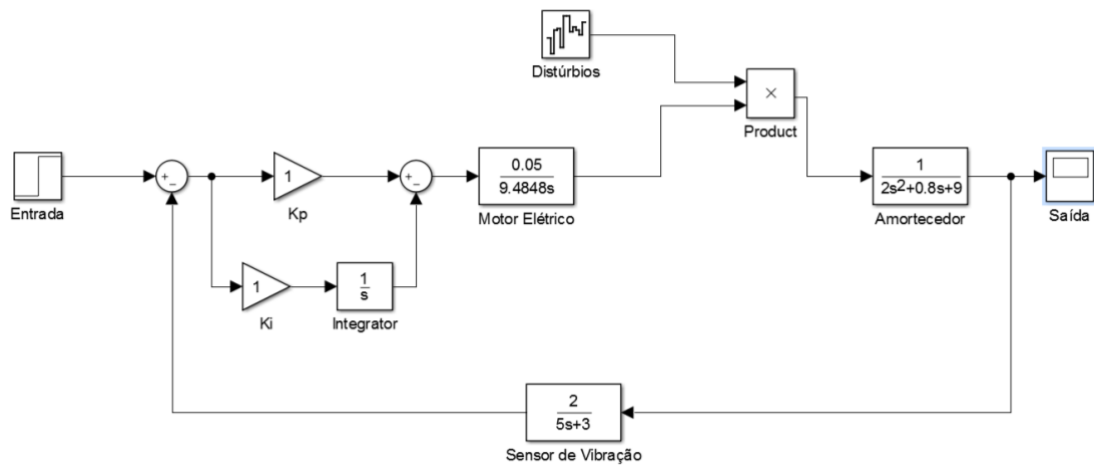
Figura 20 – Sistema em Oscilação



Fonte: Próprios autores - 2019

Após verificar que com a implementação do bloco de distúrbio o sistema ficou desestabilizado e sem controle das oscilações, optou-se por usar um controlador PI (proporcional-integral) para controlar o sistema, tentando obter assim uma estabilidade mais rápida, onde através do diagrama de blocos demonstrado na figura 21, foi possível gerar o gráfico apresentando na figura 22.

Figura 21 - Diagrama de blocos de estabilidade

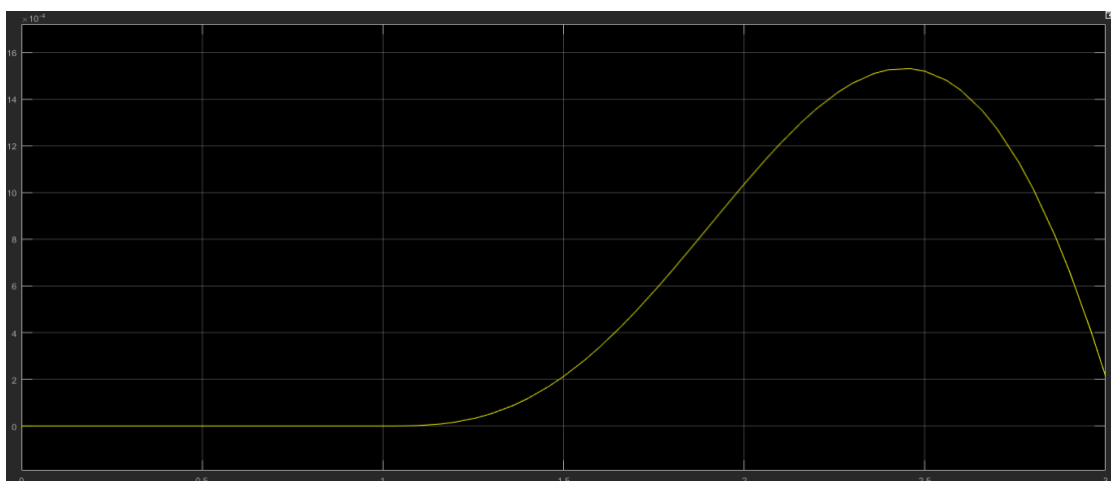


Fonte: Próprios autores - 2019

Para os valores do K_p e do K_i , demonstrados no diagrama de blocos representado pela figura 21, usou-se inicialmente de forma empírica os valores de $K_p=18$ e $K_i=25$ para a obtenção de uma estabilização mais rápida do sistema. Com esses valores considerados, chegou-se no gráfico demonstrado na figura 22 em que o sistema com 0,5s começa a reconhecer o tipo de situação que se encontra, obtendo um overshoot (sobre-sinal) aos 2,5s e depois obtendo uma estabilização do sistema.

Assim por se tratar de um Controle PI e possível observar que o sistema demoraria um pequeno intervalo de tempo para estabilizar, esse intervalo pode ser corrigido com possíveis substituições de componentes que afete a resposta ao controle.

Figura 22 - Sistema Estabilizado



Fonte: Próprios autores - 2019

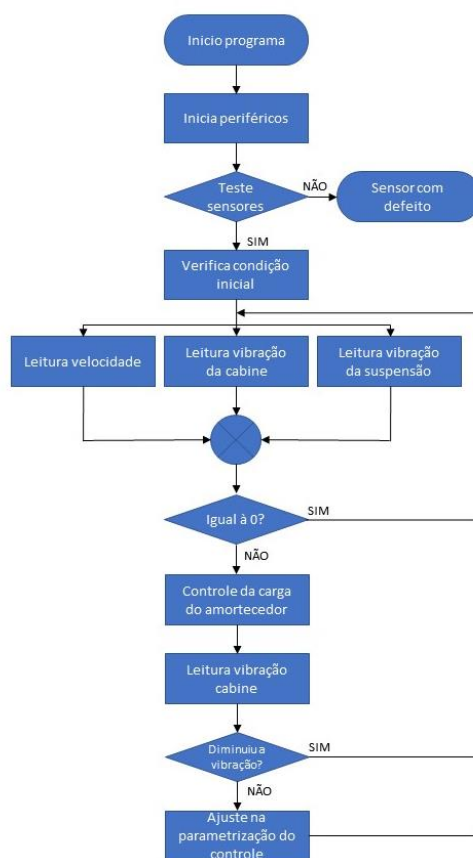
7. Método de programação do sistema

O método de programação do sistema é demonstrado pelo fluxograma de ilustrado na figura 23, que foi desenvolvido de modo que melhor ilustrasse os passos de processamento do controle, logo após o início dos sensores periféricos é realizado um auto monitoramento, onde se questiona se há erros nos mesmos, com o objetivo de diminuir a probabilidade de dar início a um sistema com vícios.

Subsequentemente são analisadas as condições iniciais em que se encontra o sistema, a finalidade disso é estabelecer o ponto de condição inicial uma referência. A seguir é feita uma aquisição dos dados dos sensores de forma cíclica, ou seja, uma vez iniciado só irá parar quando o sistema for desligado. Se não houver oscilação dos sensores o ciclo volta ao seu ponto de começo, caso contrário é empregado o atuador para corrigir essa perturbação.

Neste ponto são considerados os resultados desta operação, se a consequência foi satisfatória é dado o recomeço do ciclo, porém se for constatado um revés através dos sensores é instituído uma correção na formulação do controle, de forma adaptativa ao meio, e preparando o controle para um próximo ciclo com resultados mais coesos ao esperado.

Figura 23 – Fluxograma de programação



Fonte: Próprios Autores – 2019

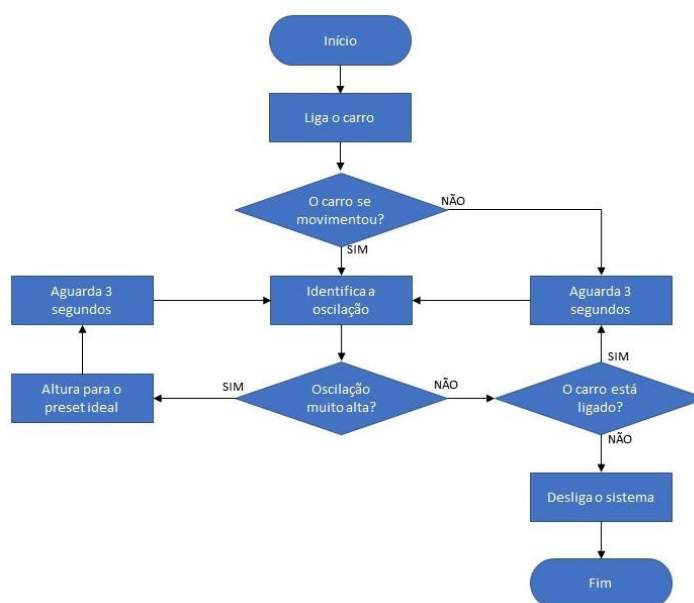
8. Descrição de funcionamento

O funcionamento de todo o sistema visa controlar o amortecimento do veículo através do ajuste da pressão interna do amortecedor, segundo descrito no fluxograma de funcionamento (figura 24) o sistema de controle deve realizar uma aferição de oscilação a cada três segundos, para que através da programação desenvolvida seja possível gerar uma ação de controle corretiva para que o conforto do automóvel seja o melhor possível.

É possível descrever o funcionamento do sistema da seguinte forma, ao trafegar por um tipo de pavimento o sistema detecta a oscilação do conjunto de suspensão através de dois sensores SW 420 (figura 12) posicionados no cubo da roda (sendo um sensor de emergência caso ocorra alguma eventualidade), após o sensor detectar a taxa de oscilação o mesmo irá enviar tal informação para o controlador Arduino UNO R3 (figura 10), onde através da programação irá identificar a taxa de oscilação e determinar uma ação corretiva, determinando assim quantos passos o motor NEMA 17 (figura 07) deverá dar, após três segundos o sistema irá novamente realizar todo o processo para checar se a oscilação está dentro da taxa de 30%, ou seja, se a oscilação anterior, por exemplo, teve um valor de cinco e a nova aferição ela teve um valor de seis, não ocorrerá mudança no ajuste da carga do amortecedor, pois está dentro do Target de 30% aceito pelo sistema, mas caso o valor detectado seja sete ou mais o processo de ajuste ocorrerá tudo novamente.

Se o condutor está em um carro trafegando por uma rua de asfalto de boa qualidade, mas por descuido cai em um buraco, o sistema tenderá na próxima aferição a ajustar a carga de pressão do amortecedor para o momento de oscilação de maior impacto que no caso seria a queda no buraco, ou seja, como a oscilação foi muito alta devido ao impacto elevado o amortecedor ficaria muito macio, mas isto seria corrigido na próxima aferição no tempo de três segundos. Outro exemplo de ajuste do sistema seria a transição de uma rua de boa qualidade para uma em péssimo estado de conservação. Na rua de asfalto bom o amortecedor deve ter um pre-set de cinco na carga ajustada, mas no caso do pavimento de má qualidade o ajuste de ser uma carga de três (é retirado carga do amortecedor). O sistema irá se adaptar a tal eventualidade após completar três segundos e realizar aferições periódicas dentro deste intervalo de tempo para que o conforto seja o melhor possível.

Figura 24 – Fluxograma de funcionamento



Fonte: Próprios Autores – 2019

9. Sustentabilidade

Toda a suspensão é feita utilizando materiais reaproveitados, ou seja, a suspensão já usada do veículo e retirada em cima dela são realizadas as adaptações necessárias, para que não seja necessário descartar a atual e tenha que se fazer uma totalmente do zero e com isto evita-se o descarte inadequado de óleo interno do amortecedor e também de um amortecedor que poderia ser reutilizado por estar em bom estado.

10. Resultados

Os resultados esperados para a suspensão com controle de amortecimento automático são que o sistema consiga desempenhar um funcionamento muito próximo aos sistemas de suspensão similares que são semi-ativa, onde tal sistema tem uma taxa de leitura e correção de aproximadamente de 2 segundos. Além do sistema de suspensão semi-ativa existe o sistema ativo que tem como taxa de leitura e correção um avanço considerável, possuindo que é de aproximadamente de 1 a 1,5 segundos.

O sistema tem como objetivo fazer com que a leitura e correção do sistema ocorra dentro de 3 segundos, isto é um excelente resultado, pois em relação aos modelos já existentes no mercado, considerando também o custo que seria em reduzido em mais de 50% (a suspensão ativa tem preço estimado de R\$15.000,00 e o sistema desenvolvido tem preço estimado de R\$ 6.000,00) e tendo um resultado muito próximo ela poderá competir no mercado por causa de seu excelente custo benefício.

Além de ter um resultado de leitura e correção excelente, se espera que o sistema de amortecimento automático que a correção realizada melhore em até 80% o conforto do veículo, fazendo com que os ocupantes do automóvel não sintam as oscilações do pavimento em que o

veículo está trafegando. Outro aspecto importante do sistema é fazer com que haja uma grande melhora de estabilidade do veículo, pois como a o ajuste é feito exclusivamente para o cada tipo de carro e como é realizando periodicamente ajustes na dureza do amortecedor para que o mesmo fique mais rígido ou mais macio, fazendo com que o funcionamento no conjunto dinâmico geral do veículo e assim fazer com que o mesmo venha a ter uma melhor estabilidade e seja mais consistente ao guiar.

Portanto a suspensão com controle de amortecimento automático tem grandes ambições e com certeza irá atender todos os objetivos propostos e conseguir trazer todos os benefícios para o condutor e os ocupantes do veículo

11. Conclusão

O desenvolvimento do presente estudo apresentou definições técnicas de uma suspensão automatizada, que foi desenvolvida com intuito de trazer mais conforto e segurança aos veículos leves de maneira simples e alternativa, alterando a suspensão original do veículo por uma totalmente automatizada, com um maior custo benefício em relação às suspensões semelhantes encontradas no mercado.

Para tal fundamentação elaborou-se um estudo de mercado sobre as fabricantes que utilizam uma suspensão semelhante. Com base nos resultados identificou-se o que poderia ser feito para baratear e manter a qualidade do projeto.

A suspensão desenvolvida controla o amortecimento através do ajuste da pressão interna do amortecedor, que é ajustada conforme a detecção de oscilações de acordo com o pavimento que o veículo está trafegando, caso a oscilação seja muito alta, o controlador determina uma ação corretiva e altera a pressão interna do amortecedor de acordo com as especificações pré-determinadas em sua programação. O tempo de resposta do sistema desenvolvido é de 3 segundos entre a leitura do sensor e o ajuste de pressão interna do amortecedor.

Uma vez elaborado os testes dinâmicos e desenvolvido as análises em software, pode-se verificar a eficiência do sistema de suspensão em relação às demais suspensões encontradas no mercado, com relação ao custo e um comportamento semelhante do sistema.

Na prática, a suspensão com controle de amortecimento automático pode ser aplicada em diversos veículos, sejam estes veículos de passeio, de luxo ou até mesmo de competição. No entanto, devido ao custo elevado e baixa disponibilidade de peças no mercado o sistema de suspensão automatizada ainda é pouco difundido. Por tal motivo que este tema foi selecionado, visando ser uma área pouco explorada e com um enorme potencial de crescimento.

12. Referências Bibliográficas

AUTOMOVEIS. Principais Tipos de Suspensão. Disponível em: <<https://tudosobreautomoveis.blogs.sapo.pt/6251.html>>. Acesso em 15 Março de 2019

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley**. 8 ed. Porto Alegre: Bookman Ltda, 2011

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 7 ed. São Paulo: ABM, 1996.

CRIVELARO, Cláudio. **Controle robusto de suspensão semi-ativa para caminhonetes utilizando magneto-reológicos**. Tese de Doutorado apresentação a Universidade de São Paulo, 2008.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

EDILMAR, Wanderley Côrte – Real. **Dessensibilização da estrutura de Controle LQG aplicada ao modelo de uma suspensão ativa utilizando a técnica de Prabi**. Disponível em : <http://www.pgee.ime.eb.br/pdf/edilmar_real.pdf>. Acesso em 15 Março de 2019.

FONTELE, Mario. **Metodologia de pesquisa científica: Diretrizes para a elaboração de um procolo de pesquisa**. Disponível em : https://cienciassaude.medicina.ufg.br/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf. Acesso em 15 Março de 2019

IEZZO, Robson. **Desenvolvimento de um sistema de suspensão com amortecimento semi-ativo "Slow-Active" com custo competitivo**. Dissertação de Mestrado. Comissão de pós-graduação da universidade estadual de campinas, 2010.

MOTOR, The Old. **History of the sock absorber**. Disponível em: <<http://theoldmotor.com/?tag=the-history-of-the-shock-absorber>>.

Acesso em 20 março de 2019

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicas Editora S.A., 2000.

PRIZENDT, Beijamin. **Suspensão e Direção**. Senai – SP, 1992.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.