

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PERFIS DE PISTA NA VIDA EM FADIGA DE COMPONENTES DE UMA SUSPENSÃO DUPLO A

Luciano de P. Rodrigues, luciano.paula.rodrigues@gmail.com¹

Rita de C. Silva, ritasilva@unb.br¹

Alessandro B. de S. Oliveira, abso@unb.br¹

¹ Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Engenharia Automotiva. CECEL, Área Especial 01, campus UnB Gama, Gama Leste Industrial, CEP: 72.405-610, Caixa Postal: 8114.

RESUMO: *O presente trabalho abrange a etapa inicial de um estudo, que se divide em duas etapas. A primeira dedica-se à modelagem dos braços superior e inferior dianteiro de uma suspensão Duplo A, utilizando o Método de Elementos Finitos. A segunda terá por objetivo aplicar a Teoria da Confiabilidade na avaliação da integridade estrutural deste componente. Sendo assim, nesta primeira fase, é realizada uma modelagem em CAD utilizando-se o software CATIA®, associado ao Autodesk Simulation Multiphysics® visando às simulações em elementos finitos. No Multiphysics®, é utilizado o módulo de análise em fadiga, através do método da vida em fadiga sob tensão. Isto permite testar os braços sob diversos níveis de carregamento e assim, obter o número de ciclos até a falha e, então, o diagrama S-N do componente.*

PALAVRAS-CHAVE: *Suspensão veicular, Fadiga, Método de Elementos Finitos*

ABSTRACT: *This paper covers the initial phase of a study, which is divided into two stages. The first is dedicated to the modeling of the upper and lower front arms of a suspension Double A, using the Finite Element Method. The second shall be intended to apply the Theory of Reliability in evaluating the structural integrity of this component. Thus, this first phase, a model is made in CAD using CATIA® software, associated with Autodesk Simulation Multiphysics® targeting the finite element simulations. In Multiphysics®, the fatigue analysis module is used by the method of the fatigue life under tension. This allows the testing of arms under various loading levels and thus obtain the number of cycles to failure for each load and then the SN diagram component..*

KEYWORDS: *Suspension, Fatigue, Finite elements*

INTRODUÇÃO

No contexto atual em que questões ambientais, sociais e econômicas exercem uma influência cada vez mais forte na produção industrial, a indústria automotiva enfrenta grandes desafios. Desta forma, espera-se das fábricas de veículos que as novas tendências de mercado sejam atendidas, sem que haja prejuízo no que se refere à segurança de seus usuários e à integridade do produto, ou seja, que seus componentes estruturais atinjam um determinado ciclo de vida pré-determinado em projeto.

Para compreensão da integridade de componentes estruturais, é necessário entender o fenômeno da falha que é apontado por Shigley et al (2005) como o funcionamento indesejado de um elemento. Sendo assim, para garantir a segurança de um componente é requisito básico conhecer seus modos de falha ao longo de sua vida útil, para assim poder prevêê-los e preveni-los.

Uma forma de falha comum em elementos automotivos é a falha por fadiga, que é um fenômeno em que a estrutura sofre pequenas trincas e plastificação, devido a um carregamento, que é repetido de maneira cíclica e gera um estado de tensão inferior à tensão de escoamento do material. Conforme o carregamento é repetido essas trincas se espalham até configurar-se a falha da estrutura.

Um modo relativamente simples e barato de se realizar experimentos envolvendo a fadiga é através de métodos numéricos, em específico o Método de Elementos Finitos (MEF) que é, segundo Moaveni (1999), um procedimento numérico que pode ser utilizado para resolver diversos problemas da engenharia, que consiste, de maneira bem simplista, em discretizar um elemento em várias pequenas partes que mantenham as propriedades estruturais da estrutura original. Um exemplo disso é o trabalho de Bonniati (2003) em que foi estudado com MEF a relação entre a propagação de trincas do tambor do freio de um caminhão e altas temperaturas para carregamentos cíclicos.

Via MEF é possível simular um corpo de maneira estática e dinâmica. A análise estática de acordo com Beer e Johnston(1995) considera que as condições do sistema não sofrem variação com o tempo, ou seja, o carregamento, força ou momento tem sua magnitude direção e ponto de aplicação estáticos. Além disso, os corpos estudados nesta condição são elementos rígidos e indeformáveis.

Considerando a relevância da vida em fadiga em estruturas automotivas Fournalis et al (2007), verificaram a confiabilidade da predição da vida em fadiga utilizando MEF, para avaliar a influência da espessura da chapa utilizada na confecção e do processo de união dos componentes em uma suspensão veicular. Outro método numérico bastante utilizado

para simulações estruturais é o Método dos Elementos de Contorno (MEC), utilizado por Magalhães (2011) em seu estudo de componentes veiculares em que foi realizado também um comparativo entre MEF e MEC. Outros trabalhos que reforçam a importância da vida em fadiga em componentes automotivos é o de Carvalho e Faria (2010), que aborda a influência do material (aço, ferro fundido e alumínio) na manga do eixo de uma suspensão McPherson e o de Angelo (2007) que busca uma análise matemática do efeito de durabilidade de um suporte do eixo traseiro em veículos de passeio.

Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo modelar em elementos finitos as bandejas inferior e superior de uma suspensão independente do tipo Duplo A, de um modelo do veículo Ferrari "Sharknose" 1961 disponível em CAD que foi modelada com o CATIA®, associado ao software Autodesk Multiphysics® para simulação numérica em MEF, visto que este permite análise estática e dinâmica do modelo. A partir disso, é possível testar os elementos da suspensão sob carregamento, a fim de se obter o diagrama SN para duas funções que representam perfis de pistas.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E A IMPORTÂNCIA DA SUSPENSÃO VEICULAR

Nesta seção, serão apresentadas a importância do subsistema suspensão em um veículo, bem como as principais características da suspensão Duplo A estudada no presente trabalho.

De acordo com Gillespie (1992) a suspensão possui o objetivo primário atenuar as vibrações que surgem do contato entre o pneu e o solo. Desta forma fica evidente que este subsistema tem grande influência na dinâmica vertical do veículo (ride). O estudo da dinâmica do veículo nesta direção considera tanto o aspecto ergonômico, que se resume no conforto do passageiro, quanto o aspecto da influência das vibrações não absorvidas pelo subsistema na saúde do condutor.

Além disso, a geometria da suspensão afeta nas relações de rolagem, frenagem/aceleração e dirigibilidade, visto que este subsistema balanceia as reações provenientes do pneu com o solo e também o rolamento do chassi.

A preocupação com o conforto dos passageiros no interior do automóvel se confunde com o surgimento da suspensão, como foi observado por Heisler (2002). De fato, usuários de charretes e carroças, em um período anterior ao surgimento dos veículos automotores, já percebiam a necessidade de isolar o habitáculo das irregularidades da pista. Desta forma, ainda neste tipo de veículo foi introduzido o conceito do feixe de molas que posteriormente se concretizou no conceito de suspensão.

De acordo com Gillespie (1992) as suspensões podem ser divididas em duas categorias, as de eixo rígido e as independentes. A característica marcante do primeiro

grupo consiste no fato de que as rodas são ligadas por uma viga rígida, portanto as oscilações em uma das rodas são transmitidas para a outra através de seu eixo. Os sistemas independentes possuem um comportamento contrário quanto à transmissão de vibração nas rodas, uma vez que o movimento em uma das rodas não se propaga para outra, sendo esta a principal diferença entre os grupos.

Almeida (2012) cita como principal vantagem da suspensão Duplo A sobre outros modelos a robustez. Além disso, em termos de dimensionamento é mais fácil ajustar características como a cambagem e bitola, de modo que este tipo de suspensão é comumente utilizadas em veículos de alto desempenho. Entretanto é citado como maior desvantagem o custo e o espaço de instalação.

Assim o presente trabalho considera uma suspensão independente modelo Duplo A, cuja principal característica é a forma geométrica de suas bandejas, que possuem a forma de um A, que estão ligados ao montante e chassi. A Figura 1 destaca o modelo em CAD da suspensão Duplo A que é estudada neste trabalho, na qual os braços superior e inferior são representados pelos números 1 e 2, respectivamente. O conjunto mola-amortecedor está representado pelo identificador 3 e o montante por 4.

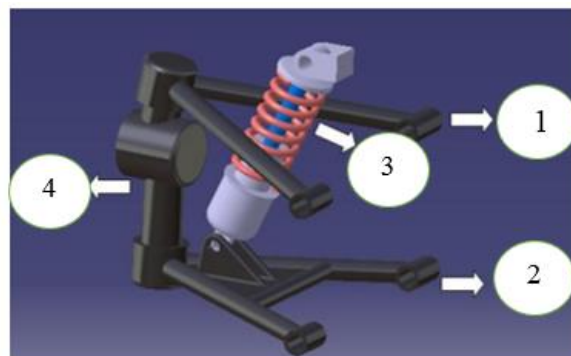


Figura 1. Modelo CAD da suspensão duplo A utilizada para análise

CRITÉRIO DE ESCOAMENTO DE VON MISES

O critério de von Mises é também conhecido como critério da máxima energia de distorção e permite definir, para materiais dúcteis, se a estrutura está segura ou se irá falhar.

Beer e Johnston (1995) define que os elementos mecânicos são projetados de modo a atuar em uma zona considerada segura, representada para o critério pela elipse da Fig.2.

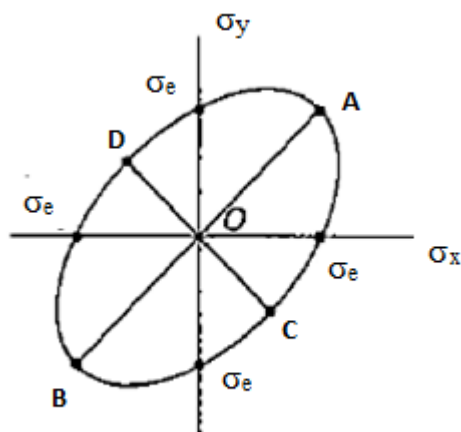


Figura 2. Critério da máxima energia de distorção .
Fonte : Adaptação de Beer e Johnston (1995)

De acordo com Beer e Johnston (1995) este critério é baseado na associação da energia de distorção com a falha por escoamento, ou seja, enquanto a máxima energia de distorção por unidade de volume da estrutura for menor que a energia de distorção necessária para causar o escoamento do material o componente é considerado seguro

Neste sentido, no presente trabalho o critério de escoamento escolhido para análise dos braços de suspensão (Fig. 1, componentes 1 e 2) foi o de von Mises. Sendo assim, foram realizadas análises que permitem visualizar, para os braços superiores e inferiores da suspensão, a resposta da estrutura diante da sollicitação para tensão, deslocamento e deformação.

MODELAGEM DOS BRAÇOS DE SUSPENSÃO UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Esta seção trata a modelagem em MEF dos braços superior e inferior da suspensão Duplo A (Fig. 1). Desta forma, serão apresentadas as propriedades utilizadas para análise, o critério utilizado para definição do grau de refinamento da malha e o carregamento estabelecido na análise.

Para modelagem CAD deste trabalho, como dito na seção 1, foi utilizado o software CATIA®, enquanto que para modelagem numérica em MEF utilizou-se o Autodesk Multiphysics®. Neste contexto a suspensão dianteira apresentada na Fig. 1, foi isolada dos demais sistemas veiculares separando-se, ainda, os braços inferior e superior para análise em elementos finitos.

Definição do material e elemento aplicado na avaliação do component

Para análise em elementos finitos é necessário passar por uma etapa de pré- processamento da estrutura, ou seja, é preciso definir suas propriedades como o material, os elementos presentes e seu tamanho.

Neste sentido foi selecionado como material o aço SAE 1020 laminado a quente, por ser um material largamente utilizado no mercado. Além disso, consta na biblioteca do software em questão todas as propriedades do material.

O Autodesk Multiphysics® oferece vários elementos cada um com suas particularidades em relação à geometria e número de nós. Na modelagem, em regiões próximas a cantos vivos e furos, por exemplo, elementos diferentes do pré-estabelecido podem ser gerados, a fim de garantir melhoria na convergência do resultado, no entanto o elemento selecionado pelo usuário é predominante na estrutura.

O elemento principal estabelecido na modelagem dos braços de suspensão é denominado Brick (Fig. 3). A geometria e número de nós dos elementos disponíveis no software são mostrado na Fig.3, inclusive o estabelecido neste estudo.

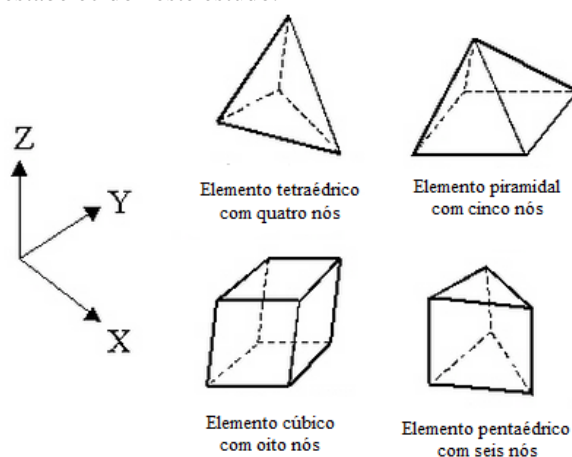


Figura 3. Geometria dos elementos presentes nos modelos. Fonte: Adaptado de Autodesk Multiphysics

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA MALHA

A malha de elementos finitos aplicada em um componente em um estudo estático ou dinâmico é de fundamental importância na qualidade dos resultados obtidos. Neste sentido dois aspectos da malha podem ser trabalhados, quais sejam tamanho do elemento ou a seleção de elementos com número de nós maior e, conseqüentemente maior número de graus de liberdade. Neste trabalho optou-se por refinar a malha, ou seja, verificar a influência do tamanho dos elementos.

O tamanho do elemento no Autodesk Multiphysics® é dado através de uma barra de percentagem cujo intervalo é de 10% até 190%, sendo que o primeiro valor do intervalo corresponde a um elemento muito pequeno e o segundo a um elemento grande.

Para se determinar o tamanho adequado dos elementos procedeu-se da seguinte forma: um tamanho inicial de elemento correspondente a (130%) foi estabelecido para compor a malha dos componentes em análise. A simulação foi realizada e os resultados registrados. Em seguida, reduzindo-se o tamanho do elemento de 10 em

10% novas simulações foram feitas, guardando-se todas as demais propriedades do modelo constantes e iguais a da primeira simulação. Os resultados obtidos para cada simulação foram armazenados e uma diferença nos resultados entre duas simulações, igual ou menor a 5% foi estabelecida como critério de parada. O diagrama a seguir, apresentado na Fig. 4 mostra este procedimento.

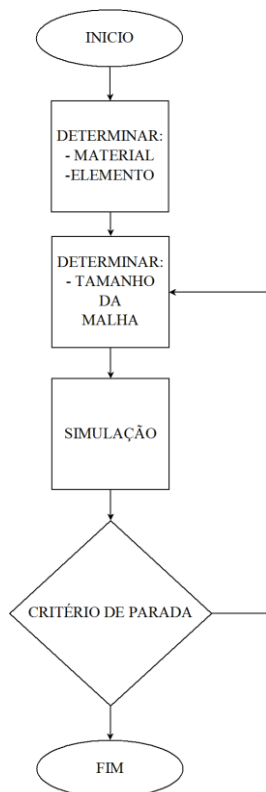


Figura 4. Diagrama referente a análise de sensibilidade

Desta maneira para o braço inferior da suspensão dianteira foi encontrado um grau de refinamento igual a 30 %, que apresenta 17.322 elementos, 17.156 nós e 2,24 mm de tamanho, como pode ser observado na Fig.5. O braço superior também foi submetido à análise de sensibilidade descrita acima e apresentou um grau de refinamento de 40%. Diante disso a Fig.6 apresenta o modelo que contém 11.222 elementos, 8.925 nós e 3,95 mm de tamanho.

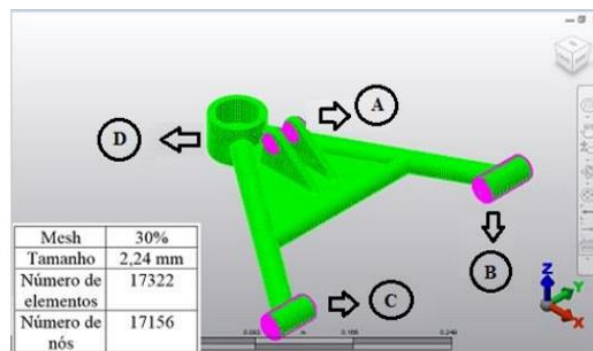


Figura 5. Bandeja inferior em elementos finitos

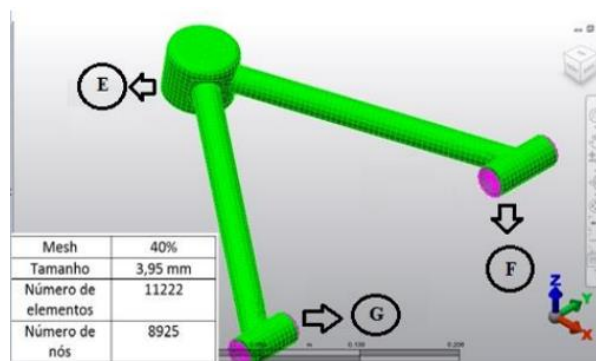


Figura 6. Bandeja superior em elementos finitos

DEFINIÇÃO DO CARREGAMENTO E CONDIÇÕES DE CONTORNO

As Figura 5 e Figura 6 ilustram a malha em elementos finitos da bandeja inferior e superior respectivamente, e destacam, ainda, os pontos onde foram consideradas as condições de contorno inspirado no trabalho de Lima (2011), que realizou um estudo semelhante. Dessa forma, definiram-se os pontos de aplicação de carregamento do modelo. O ponto A, destacado na Fig. 4 identifica a fixação do conjunto mola/amortecedor ao braço cujo único movimento possível é a rotação, em torno do eixo “y”, segundo sistema de coordenadas apresentado na figura. Considerando a Fig. 5 e Fig. 6, os pontos B, C, F e G ligam a bandeja à estrutura do veículo, de modo que, assim como no ponto A, o movimento de translação é restrito, permitindo apenas a rotação em torno de “y”.

Shigley et al (2005) sugere que o procedimento experimental para construção do diagrama SN é realizado através de uma série de simulações, em que a primeira deve possuir um carregamento que gere um estado de tensão próximo a tensão última do material e, então, diminui-se gradativamente este valor para avaliar o comportamento da estrutura.

Apesar da bandeja inferior e da bandeja superior possuírem o mesmo material, suas propriedades geométricas, diferentes, geram respostas distintas ao carregamento. Desta forma, através da análise de escoamento de von Mises percebeu-se que 2700 N para

o braço superior e 3700 N para o braço inferior representa um estado de tensão próximo a 90% da tensão última do material para cada braço.

Verificou-se através de uma análise estática segundo critério de escoamento de von Mises, discutido na seção 3 deste trabalho, que 2350 N e 1750 N respectivamente para o braço inferior e superior gera um estado de tensão de aproximadamente 97% da tensão de escoamento do material.

Para análise em fadiga, como já foi discutido neste trabalho, deve ser inserido uma função cujo objetivo é repetir o carregamento. No caso serão considerados dois perfis de pista quaisquer. O primeiro representa uma função harmônica senoidal variando com o tempo (t) em segundos no intervalo $[0, \pi]$ o segundo perfil é um ruído branco gerado com o software MatLab®, em que foi inserido como dados de entrada parâmetros que garantam o número de dados igual a função senoidal. Para a função senoidal admitiu-se uma expressão com os seguintes parâmetros, A é a amplitude definida em 1 e w a frequência em rad/s que é igual a 2. Na Figura 7 é possível visualizar o gráfico da Eq. (1).

$$Y = A \cdot \text{seno}(wt) \quad (1)$$

A Equação (1) representa um perfil de pista quaisquer e seu gráfico pode ser observado na Fig. 7.

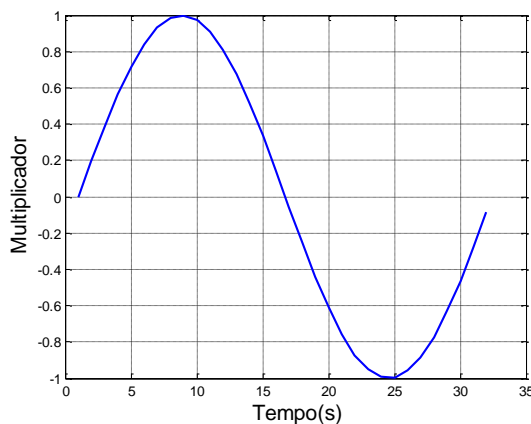


Figura 7. Gráfico referente a Eq.(1)

Para comparar o efeito de duas funções distintas sobre as bandejas da suspensão, criou-se um ruído branco para simular uma situação de rodagem em um perfil de pista mais penalizante para os braços da suspensão, que pode ser visto na Fig. 8.

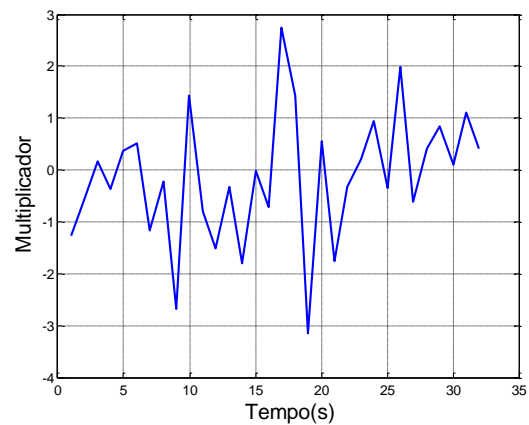


Figura 8. Gráfico referente ao ruído branco

RESULTADOS OBTIDOS

Nesta seção serão apresentados os resultados referentes às simulações apresentadas na seção anterior. Sendo assim, será mostrado os resultados da análise dinâmica na forma do diagrama SN.

A seguir é apresentado nas Fig. 9 e Fig. 10 os Diagramas SN para o braço inferior e superior respectivamente.

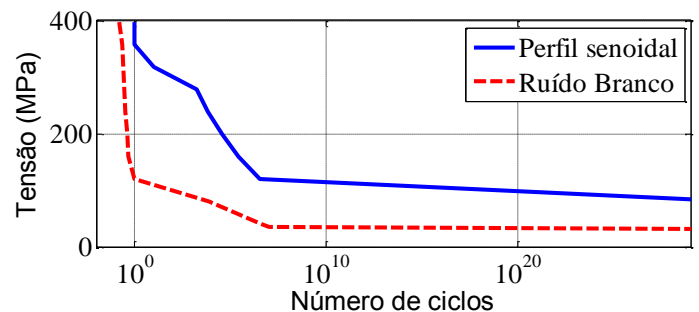


Figura 9. Diagrama SN para braço superior para braço inferior

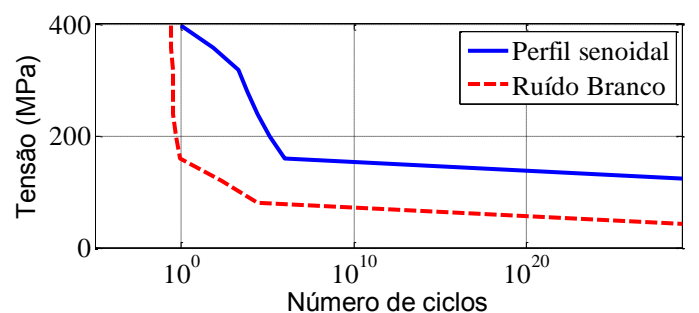


Figura 10. Diagrama SN para braço superior para braço superior

Nota-se que para o perfil senoidal, cuja amplitude máxima é um os braços superior e inferior chegam a vida infinita (10^7 ciclos) com uma tensão muito superior se comparado ao perfil representado pelo ruído branco, com amplitude máxima de 3,2.

Com fator multiplicador (eixo y das Fig.7 e Fig.8) máximo igual a um para o perfil senoidal, isso representa para o braço de suspensão um impacto máximo de uma vez seu carregamento crítico, definido aqui como 90% da tensão última. Neste contexto, ao aplicar um perfil como semelhante ao do ruído branco criado em que em um momento a suspensão é submetida a um carregamento máximo de 3,2 vezes seu carregamento crítico fica evidente a consequência disto na vida infinita da suspensão.

CONCLUSÃO E CONTINUIDADE DO TRABALHO

De acordo com os resultados apresentados é possível perceber que existem diversos fatores que influenciam a vida infinita em um elemento mecânico. O trabalho de Carvalho e Faria (2010), como apresentado na introdução, investiga a influência do material sobre um componente automotivo, enquanto este trabalho buscou mostrar a relevância do perfil de pista sobre a vida infinita dos braços inferior e superior de uma suspensão Duplo A.

Diante disso, percebe-se a necessidade do engenheiro de prever como situações consideradas externas, como o terreno em que o veículo irá trafegar em seu projeto. Neste contexto, como trabalho futuro tem-se o objetivo de buscar perfis que possuam uma representação mais próximos da realidade dos veículos e tentar a partir disso criar um perfil senoidal de fácil manuseio. E então, aplicar a Teoria da Confiabilidade para análise.

REFERÊNCIAS

- Almeida, D.A., 2012, “Dimensionamento cinemático e dinâmico de suspensão duplo A”. 2012. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- Angelo, C.M., 2007, “Fadiga de amplitude variável como parâmetro de projeto para eixos traseiros automotivos: uma análise do efeito das sobrecargas e da filtragem matemática na predição da vida em fadiga”, Dissertação de mestrado- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Beer, F.P., Junior, E.R.J.,1995, “Resistência dos materiais”, 3ª Edição, São Paulo: Pearson.
- Bonniati, D.N., 2003.”Análise do comportamento de fadiga para estruturas submetidas a temperaturas elevadas aliadas a esforços cíclicos”. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Carvalho, M.V., Faria, M.T., 2010, “Análise por elementos finitos de mangas de eixo de suspensão

automotiva sob carregamento cíclico”, VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

- Fourlaris, G., Ellwood, R., Jones, T. B, 2007, “The reliability of test results from simple test samples in predicting the fatigue performance of automotive components”, *Materials and Design*, v. 28, p. 1198-1210.
- Gillespie, T.D., 1992, “Fundamentals of vehicle dynamics”, Society of Automotive Engineers, Inc.
- Heisler, H. 2002, “Advanced Vehicle Technology”. London: Butterworth Heinemann.
- Lima, L.Z., 2011, “Otimização do braço inferior da suspensão dianteira do veículo baja utilizando o método dos elementos finitos”, 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júliode Mesquita Filho, Guaratinguetá.
- Lira,B.H., 2012, “Suspensão para o segment de minicarros”, Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia Mauá-Centro universitário do instituto Mauá de tecnologia.São Caetano do Sul
- Moaveni,S.1999, ”Finite element analyses.Theory and application with ansys”.Minnesota state university-Mankato.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este artigo.