



ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA DE CHASSIS DE PROTÓTIPO AUTOMOTIVO

Anderson Bonsanto de Oliveira¹
André Cervieri²

Resumo

O objetivo do presente trabalho é desenhar e analisar a estrutura de um chassi de um veículo esportivo. A estrutura do chassi tem fundamental importância na eficiência do projeto, pois nela são fixadas partes mecânicas que compõe o sistema de direção, suspensão, e tração, entre outros. A geometria do chassi foi desenhada em programa de CAD 3D SolidWorks e a análise numérica foi realizada com a utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF) com o programa FEMAP. O chassi foi desenhado utilizando superfícies médias tendo em vista a utilização da formulação em elementos de casca na metodologia de análise por elementos finitos. Com a utilização desta metodologia foi possível realiza análise estática e dinâmica para verificar como a estrutura se comportará ao sofrer os esforços atuantes durante o deslocamento do veículo. As análises permitem estimar a grandeza e a forma que os carregamentos atuaram sobre a estrutura do chassi. Assim, pode-se determinar os pontos de menor resistência e alterar a geometria afim de eliminar pontos críticos. Os resultados obtidos foram usados para avaliar o projeto com relação a sua adequação à normas utilizadas para verificar a segurança, e se a estrutura está adequada para um veículo esportivo com chassi tubular. Os resultados obtidos foram de uma rigidez torcionou de 1639 Nm^º, se encaixando nas normas de um chassi tipo escada de acordo com a norma Fiat, Torino, 2002. A sua frequência dos módulos de vibração obtida da análise foi de 34,4 Hz para o primeiro modulo e de 41,5 Hz para o segundo modulo.

Palavras chave: Rigidez Estrutural, Elementos Finitos, Análise estática e dinâmica

INTRODUÇÃO

A estrutura do chassi tem fundamental importância na eficiência do projeto, pois nela são fixadas partes mecânicas que compõe o sistema de direção, suspensão, e tração, entre outros. Diversos autores utilizaram técnicas computacionais para prever a rigidez estrutural de chassi para automóveis. Isto mostra que essas técnicas são uma poderosa ferramenta no

1 Aluno do curso de graduação de Engenharia Mecânica Automotiva – Bolsista PROBIC/FAPERGS

2 Professor do curso de graduação André Cervieri ou PPGEMPS – cervieri1@gmail.com

desenvolvimento destas estruturas, principalmente na busca de um bom compromisso entre massa e rigidez. ERICSSON, L. G. S., (2008), estudou a influência da rigidez do chassi na dirigibilidade de um veículo de competição Formula SAE em ambientes multicorpos. Para prever a rigidez dos chassis o autor utilizou o método dos elementos finitos, e concluiu que para uma boa dirigibilidade o valor da rigidez à torção do chassi deve estar entre 700 e 1500 N.m/°. BAKER (2004) também projetou e construiu um destes veículos e utilizou o mesmo método e obteve uma rigidez à torção de 233 Nm/° e concluiu que atingiu um bom resultado.

GAMA DE OLIVEIRA (2006), novamente utilizou o Método dos Elementos Finitos na previsão da rigidez à torção de um chassi tubular, buscando uma boa relação entre massa e rigidez. O autor utilizou ainda Métodos Heurísticos de Otimização Numérica para refinar a configuração inicial, com esta metodologia o valor da massa foi reduzido em 35% e a rigidez aumentou em 62% em relação ao inicial.

Para que os resultados gerados pelos modelos numéricos se aproximem dos valores reais, é necessário que o projetista seja experiente no uso da técnica, já que as simplificações feitas no modelo numérico podem alterar os resultados da análise, invalidando o modelo. Para a validação do modelo numérico, usualmente, se compara os valores resultantes com os gerados por uma análise experimental.

CASTRO (2008) propôs uma metodologia híbrida experimental-numérica para avaliar componentes estruturais automotivos, e obteve uma boa correlação entre os valores experimentais e os valores numéricos. Pinto Filho (2004), também, por meio de Elementos Finitos, avaliou a rigidez à torção e à flexão do chassi de um veículo de uso misto, uma análise experimental foi realizada, e para a rigidez à torção foi encontrada uma diferença de 4% em relação à análise numérica, mostrando uma boa fidelidade do modelo numérico, foi proposta ainda uma melhoria da estrutura do chassi, e com essa um aumento de 75% na rigidez à torção foi obtido, com acréscimo de apenas 5 kg de massa no chassi.

SILVA (2001) define o Método dos Elementos Finitos, MEF, como sendo uma aproximação numérica para a resolução de equações diferenciais por integração, aplicado a partir da divisão de um sistema ou conjunto físico, sendo analisados, em partes discretas menores (discretização do modelo), denominadas elementos finitos, as equações diferenciais inerentes ao tipo de análise desenvolvida, correspondentes a cada elemento, são resolvidas a partir de rotinas numéricas, gerando a origem do nome deste método numérico.

Desai e Abel (1972) analisaram o efeito da razão de aspecto dos elementos, na exatidão dos resultados. Neste trabalho foi analisada uma viga com malha composta por 12

elementos de diferentes razões de aspecto e concluíram que os melhores resultados foram obtidos com razões de aspecto que tentem a uma unidade, ou seja, próximas de 1:1.

Rigidez veicular

A rigidez estrutural de um chassis não deve influenciar na cinemática das suspensões dianteira e traseira. Portanto um chassis com rigidez adequada deve manter os pontos de fixação das suspensões inalterados quando o mesmo sofrer carregamentos que gerem torção ou flexão, garantindo a geometria das suspensões definida no projeto.

Segundo THOMPSON (1998), o conhecimento da rigidez estrutural de um veículo é muito importante, pois está diretamente relacionada às características de dirigibilidade (handling).

De acordo com HAPPIAN (2002), a rigidez estrutural do chassis é a base do sentimento que piloto ou motorista experimentam ao dirigir o veículo, e é responsável por grande parte da manobrabilidade e dirigibilidade, garantindo a integridade da carroceria e o comportamento geral do veículo.

Pode-se dizer que a rigidez do quadro de chassis separa um veículo ótimo de se dirigir de outro que é apenas bom. O autor ainda cita que há a possibilidade de se projetar uma estrutura extremamente forte, mas que mesmo assim tenha baixa rigidez. De modo que projetar uma estrutura com rigidez adequada é uma tarefa crítica.

Rigidez à flexão

A condição de flexão está relacionada ao peso dos principais componentes do veículo como Power-train, tanque de combustível e ocupantes. De maneira que a carga estática aplicada pelos componentes do veículo no centro da região entre eixos, gera uma deflexão no chassis. Se a rigidez à torção do chassis for adequada, o veículo não terá problemas de rigidez à flexão (Adams, 1999).

Rigidez à torção

A condição de torção ocorre devido ao momento aplicado em torno do eixo longitudinal do veículo.

Segundo Thompson (1998), a Rigidez à Torção (Nm/°) e convencionalmente calculada pela Equação 1.

$$K_t = \frac{T}{\theta} \quad (1)$$

Sendo, T torque aplicado na dianteira do chassi (Nm), θ ângulo de torção calculado.

O ângulo de torção é calculado pela Equação 2.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{2D}{L} \right) \quad (2)$$

Sendo: L distância entre as cargas aplicadas (m), D deflexão vertical do ponto de aplicação das cargas (m).

Adams (1993) estabelece que pela simples avaliação de quais formas de estruturas são inerentemente rígidas e quais são flexíveis, é possível visualizar como um chassis fletirá e flexionará sob carregamentos advindos das condições de movimento. O autor avaliou modelos construídos em escala reduzida, utilizando adesivo, pedaços de madeira e papelão. Através dos modelos foi possível determinar a rigidez à torção de um chassi do tipo space frame.

Método dos elementos finitos (MEF)

Segundo Alvim (2005), o Método dos Elementos Finitos (MEF) é seguramente o mais utilizado na prática da engenharia para representar o comportamento e a discretização de meios contínuos. Sua larga utilização se deve ao fato de poder ser aplicado na representação dos mais variados problemas de engenharia.

O método consiste em discretizar o domínio (sólido, líquido ou gasoso) em elementos (barras, triangulares, quadrangulares, tetraedro, pentaedro ou hexaedro), que são ligados por nós. O tamanho dos elementos deve ser o menor possível para que a análise se aproxime à realidade BOSCH (2005).

Ao longo de décadas, um grande esforço vem sendo empregado na previsão da rigidez de diversas configurações de chassis, um recurso vastamente utilizado nesta previsão consiste no uso do MEF.

Segundo RAO (2004), para encontrar a solução de um problema contínuo utilizando o método dos elementos finitos deve-se seguir um procedimento ordenado. Tendo como referência à estática aplicada aos problemas estruturais pode-se expressar esse procedimento da seguinte maneira: a) pré-processamento, que exige um tempo maior de execução, pois engloba definição do modelo geométrico, definição das propriedades dos materiais empregados no modelo, geração da malha e definição das condições de contorno; b)

processamento, que consiste na aplicação das equações de diferenças na malha gerada; c) pós-processamento, onde é feita a análise dos resultados obtidos na etapa anterior.

Malha

Muitas vezes a geometria empregada no problema (região de domínio) é irregular, portanto a primeira etapa da análise por elementos finitos consiste na discretização do domínio (geração da malha) irregular em pequenos e regulares subdomínios (elementos finitos), ou seja, substituir o domínio que possui um número infinito de graus de liberdade, por um que tenha finitos graus de liberdade.

Um estudo de interdependência de malha pode ser feito para atestar que o resultado não depende do tamanho dos elementos, nesse estudo a malha é refinada até o ponto onde o resultado não se altere mais, ou se altere de forma insignificante.

A qualidade da malha afeta diretamente o resultado da análise, uma malha muito refinada demandará um maior tempo computacional, porém será obtido um resultado mais próximo da situação real, MSC.Nastran User Guide (2003).

Os resultados obtidos serão usados para avaliar o projeto com relação a sua adequação às normas utilizadas para verificar a segurança, e se a estrutura está adequada para um veículo esportivo com chassi tubular.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento estrutural, estático e dinâmico, de um chassi de protótipo automotivo tipo tubular através de uma modelagem via elementos finitos.

METODOLOGIA

O método utilizado no presente trabalho foi separado em etapas necessárias para realização das análises. A geometria do chassi foi desenhada em programa de CAD 3D SolidWorks e a análise numérica foi realizada com a utilização do Método dos Elementos Finitos (MEF) com o programa FEMAP. Definiu-se como etapas:

- 1 – desenho da geometria do chassi com superfícies médias;
- 2 – discretização da geometria do chassi utilizando elementos de casca;
- 3 – avaliar a independência da malha;
- 4 – análise estática - avaliação da rigidez do chassi;
- 5 – análise modal;
- 6 – análise transiente;

7 – análise dos resultados obtidos e elaboração das conclusões.

RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÃO

Para realização das primeiras simulações foi criado um modelo onde aplicou-se uma restrição de movimento na traseira do chassi, nas fixações da suspensão. Foi criada outra restrição na dianteira, no centro do tubo inferior. Em cada ponto de fixação da suspensão dianteira foi aplicado um carregamento de 4000 N em sentidos opostos. Assim, foi possível determinar a rigidez torcional, resultados obtidos foram de uma rigidez torcionou de 1639 Nm/°, se encaixando nas normas de um chassi tipo escada de acordo com a norma Fiat, Torino, 2002. A sua frequência dos módulos de vibração obtida da análise foi de 34,4 Hz para o primeiro modulo e de 41,5 Hz para o segundo modulo.

CONCLUSÕES

A partir da análise estática foi possível verificar a eficiência do chassi quanto à rigidez torcional e tensões resultantes da torção, garantindo assim também a flexão. Com relação as análises mesmo que a estrutura atenda às características estáticas, as análises dinâmicas permite identificar regiões que necessitam de travamento adicional, para que o projeto obtenha maior rigidez estrutural..

REFERÊNCIAS

MORELLO, L., ROSSINI, L. R., PIA, G., TONOLI, A. **The Automotive Body: Volume I and II: Components Design**, Springer, Mechanical Engineering Series, 2010.

FEMAP NASTRAN. **Linear Static and Dynamic Analysis User's Guide**, 2013.

FIAT: “Curso Per Progettisti di Scoeca”. **Norma Fiat**, Torino, 2002;

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruídos e vibrações veiculares**. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 2005, 739 p.

PONCIO, André. **Desenho e Análise Estrutural de Chassis Automotivo para Réplica de um Veículo Ford 1934**. 2014, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Mecânica Automotiva) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2013.