

PROJETO CONCEITUAL DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA ENSAIO DE RIGIDEZ TORCIONAL DE ESTRUTURAS VEICULARES DE PEQUENO PORTE

João Pedro Inácio Varela¹
Pedro Henrique Alves Mota de Andrade²
Téssio Alexandre Barreto Vieira Filho³
Wanderley Ferreira de Amorim Júnior⁴

RESUMO

O desenvolvimento de estruturas veiculares requer que determinados parâmetros sejam conhecidos como massa, velocidade e alguns mais específicos, como rigidez torcional. Esse último está relacionado diretamente com aspectos de dirigibilidade, manobrabilidade e integridade de certos componentes como vidros e, até mesmo, garantia de funcionamento como fechamento de uma porta, estando o veículo estacionado em uma superfície muito irregular. Para se obter o valor real da rigidez torcional, é necessário aplicar o método de obtenção experimental através de uma bancada de teste. Neste trabalho, após toda uma revisão bibliográfica e análise de diversos conceitos de bancadas de teste, foi realizada a concepção de uma bancada experimental para ensaio da rigidez torcional de estruturas veiculares de pequeno porte.

Palavras-chave: Estruturas veiculares, Chassis, Rigidez torcional, Bancada experimental.

INTRODUÇÃO

No projeto de chassis e estruturas veiculares é imprescindível a análise da rigidez torcional, que é considerado um parâmetro de eficiência clássico na engenharia veicular, pois afeta significativamente as características de manobrabilidade, dirigibilidade e integridade de certos componentes, como vidros e, até mesmo, garantia de funcionamento, como fechamento de uma porta, estando o veículo estacionado em uma superfície muito irregular (MILLIKEN, 1995).

Nos últimos anos, técnicas de elementos finitos vêm sendo largamente utilizadas para se obter o valor teórico deste parâmetro. Não obstante é imprescindível conhecer seu valor

¹ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, jpivufcg@gmail.com;

² Graduado pelo Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, eng.pedrohenrique@hotmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, tessioalexandre@hotmail.com;

⁴ Professor Doutor pelo curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, engenhariabrasileira1@gmail.com.

real através do método experimental que foi apresentado por (THOMPSON,1998), que consiste na medição das deformações angulares da estrutura sujeita a um torque puro, pois na execução do projeto podem surgir alterações provenientes de defeito nas peças ou erros de processo de fabricação que não foram previstos e que podem alterar significativamente o valor real da rigidez torcional, podendo se ter elevadas diferenças entre o valor teórico e real.

Na Universidade Federal de Campina Grande existem diversos grupos de pesquisa e desenvolvimento de estruturas veiculares como o laboratório de motocicletas LABEM, a equipe Parahybaja, além do laboratório de materiais e compósitos dirigido pelo professor Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior, que vem estudando estruturas em materiais compósitos para veículos robóticos.

Para auxiliar tais projetos, foi proposto o desafio de criar o conceito de uma bancada experimental para obtenção do valor real da rigidez torcional, que possa ser aplicado aos mais diferentes tipos e formas de estruturas veiculares de pequeno porte.

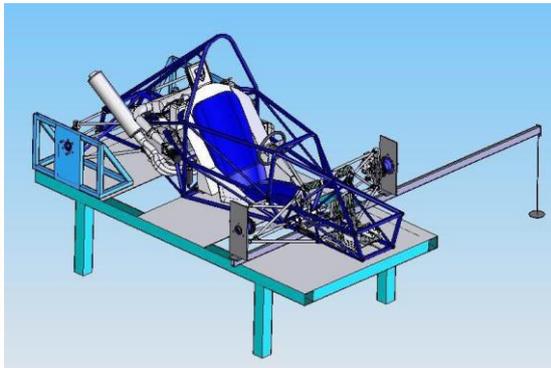
O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver o projeto conceitual de uma bancada de testes para se obter a rigidez torcional de estruturas veiculares de pequeno porte, que possibilite sua utilização em estruturas de diversas formas e tipos diferentes como, chassis de motocicletas, quadro de bicicletas, chassis robóticos e de pequenos veículos de quatro rodas.

METODOLOGIA

Pode-se definir o problema como sendo a concepção de uma bancada experimental para se obter a rigidez torcional de estruturas veiculares de pequeno porte que deve: abranger chassis para veículos de dois e de quatro pontos de fixação e chassis de veículos robóticos, ser de baixíssimo custo e fácil construção e ser facilmente transportável e capaz de suportar os esforços provenientes do carregamento nos ensaios.

A maioria das informações e conceitos de bancadas experimentais encontradas pertencem a centros de pesquisa e desenvolvimento de estruturas veiculares, onde se utiliza na maioria das vezes bancadas sofisticadas e especializadas em formatos e padrões de suas marcas, operadas por dispositivos robóticos, que está longe do objetivo deste trabalho. Entretanto, conceitos relativos aos objetivos deste trabalho foram encontrados e usados. Abaixo, alguns dos conceitos:

Figura 1: Projeto de bancada para um chassi de Buggy.



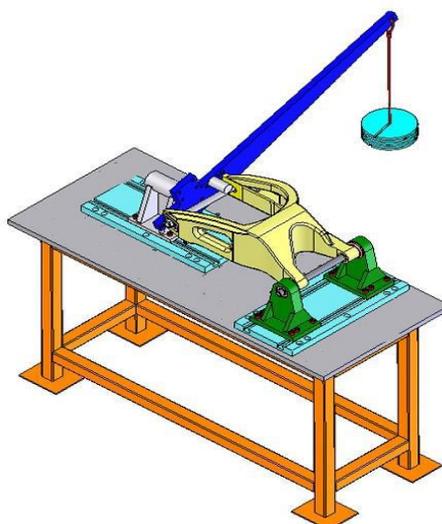
Fonte: Google imagens.

Figura 2: Projeto de bancada para um monocoque de um fórmula SAE.



Fonte: Google imagens.

Figura 3: Projeto de bancada para um monocoque de um fórmula SAE.



Fonte: Google imagens.

Após uma análise de cada modelo de bancada encontrado, notou-se que há necessidade funcional de quatro subsistemas que são de: fixação (tipo de estrutura de fixação nos quais os demais membros da bancada serão acoplados. Os objetivos é o de fornecer sustentação para os demais subsistemas como também reação ao momento torsor que provocará a torção da estrutura a ser ensaiada), carregamento (subsistema responsável em produzir o torque necessário para a execução do ensaio), componentes de fixação (formado por um conjunto de componentes utilizados para fixar a estrutura, proporcionar apoio para aplicação do torque, controlar e restringir movimentos necessário ao experimento) e aquisição de dados (conjunto de aparelhos que serão utilizados para medição das grandezas de deslocamento e carga. Podem ser sistemas a laser, relógios comparadores, leitores digitais, balanças, manômetros para atuadores hidráulicos, dentre outros).

Por isso, devido a necessidade funcional desses quatro subsistemas, se fez necessário um estudo e análise dos mesmos para que, no final, pudessem ser reunidos e conceber assim, a bancada experimental.

DESENVOLVIMENTO

O projeto de um equipamento desenvolve-se através de uma série de fases principais e em sequência cronológica, que são: informacional (definição do problema e reunião de todas as possíveis informações necessárias ao desenvolvimento do trabalho), conceitual (ideias que melhor atendem a demanda de projeto, podendo ser apresentadas na forma de croquis, diagramas, desenhos esquemáticos, dentre outros), preliminar (busca-se estabelecer materiais e espessuras que resistam aos esforços solicitados em conformidade), detalhado (com os processos de fabricação e as normas vigentes no país, quanto à segurança operacional e a confiabilidade do produto, detalhando a documentação para a construção do protótipo), construção (faz-se uso dos recursos disponíveis em termos de fabricação e montagem, para a obtenção da forma física estabelecida e dimensionada nas fases anteriores) e teste (saber se atende às especificações de projeto e, conseqüentemente, a demanda inicial).

Também utilizou-se a metodologia de projeto denominada de “Triângulo de Projeto”, desenvolvida e ensinada pelo Professor Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Junior, que consiste em colocar individualmente cada sistema, subsistema e componente do projeto

dentro de um triângulo e a partir daí pesquisar, analisar e conhecer detalhadamente tudo a respeito da forma, geometria, dimensionamento, materiais e processos de fabricação.

Este trabalho foi realizado em três etapas, a primeira consiste na fase de projeto informacional seguida da aplicação da metodologia do Triângulo de Projeto, onde foi estudado os principais componentes e subsistemas das bancadas encontradas, na segunda foi elaborado o conceito da bancada experimental através do software Autodesk Inventor 2012 versão de estudante, apresentando suas características, e na última, um introdução ao projeto preliminar para verificar o comportamento das tensões e deformações nos principais componentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Se tratando do subsistema de fixação, optou-se pela fixação em mesa, pelo fato de que as estruturas veiculares a serem ensaiadas são de pequeno porte, ser mais ergonômica para o pesquisador e ainda que se pode utilizar o espaço abaixo da mesa para guardar as ferramentas e componentes que não estão sendo utilizados nos experimentos. A mesa foi desenvolvida com uma dimensão de 2 x 1,1 m com 220 furos distribuídos em todo seu comprimento, com a intenção de que os demais componentes que possuem a furação padrão possam ser fixados em qualquer posição. É constituída por uma prancha e de seis pés. Os pés possuem perfis quadrados, projetados com robustez para não ser necessário a fixação por parafusos ao chão. Porém se as cargas forem altas e visivelmente notar-se que a estrutura não está correspondendo com este esforço, deve-se parafusá-la. Ainda houve a necessidade de efetuar rasgos quadrados na parte superior dos pés para permitir que as estruturas que venham a ser acopladas no limite da mesa possam ser aparafusadas.

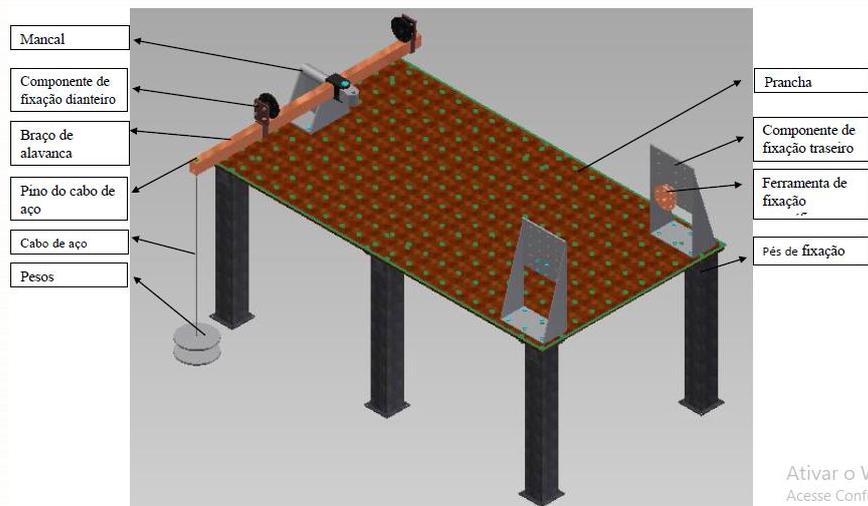
Em relação ao subsistema de carregamento, foi escolhido um aplicador de carga do tipo peso morto e um braço de alavanca, no qual são associados por meio de um cabo de aço. Os principais motivos desta escolha estão na facilidade de identificação e aplicação da carga, além de possuir o custo mais baixo de todos os outros tipos de aplicadores. O braço de alavanca foi projetado com perfil retangular, visando aumentar sua rigidez à flexão. É associado ao mancal (foi projetado para proporcionar liberdade de altura em cinco níveis, utilizando apoios e grandes parafusos) através do eixo de carga que permite o avanço do braço para controle do momento e apresenta também dois pinos onde serão amarrados os cabos de aço aos pesos.

Os componentes de fixação dianteiros foram desenvolvidos a partir de braçadeiras (proporciona liberdades de ensaio com diferentes larguras de estruturas veiculares, sendo limitadas apenas pelo tamanho do braço) com furos padronizados onde podem ser fixados diversos tipos de ferramentas específicas que deverão ser fabricadas independentemente para cada tipo de estrutura, devido a diversidade dos formatos dos acoplamentos a serem trabalhados. Já os componentes de fixação traseiros (formados por chapas metálicas, com laterais de apoio triangulares e chapa de apoio frontal furada em 20 pontos; a base deve ser parafusada em seis pontos sob a prancha da bancada, podendo ser fixadas em diversas posições a partir da furação da prancha) foram projetados para proporcionar liberdade de ajuste de altura de igual proporção ao mancal do sistema de carregamento e de ajuste de comprimento da estrutura através de sua furação própria que possibilitar um melhor ajuste.

Por último, o subsistema de aquisição de dados, que pode ser por simples aplicação das massas e das distâncias em fórmulas diretas (para obtenção do torque aplicado) e para a medida angular, optou-se em utilizar relógios comparadores em quatro unidades que deverão ser associados a pedestais. Devem ser fixados de maneira independente à mesa, colocando dois deles nas extremidades dianteira e dois na extremidade traseira da estrutura veicular. As medidas de deflexão vertical da direita e da esquerda serão obtidas a partir da diferença entre as deflexões da frente e de trás de mesmo sentido, para se obter o valor real.

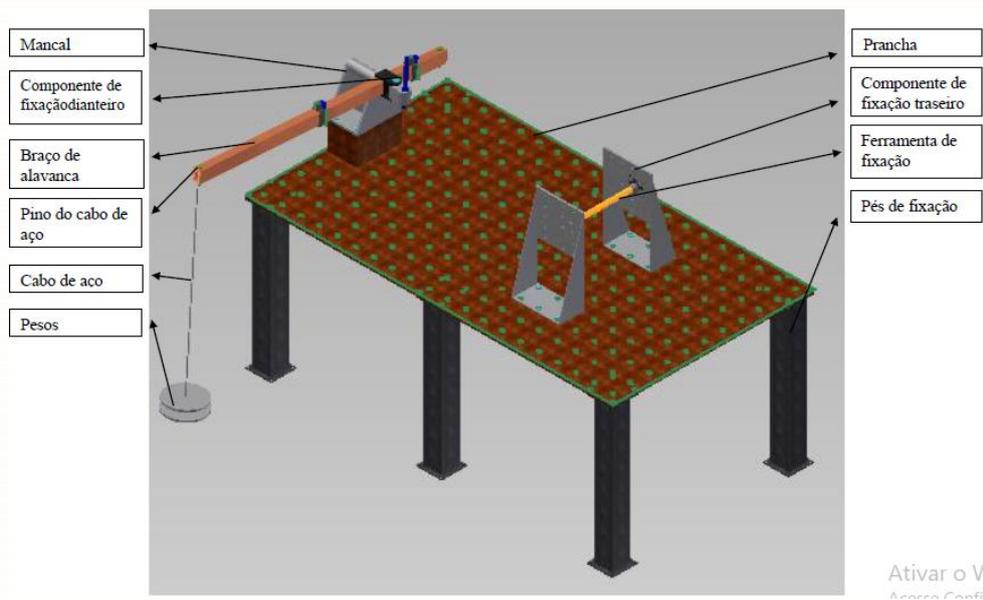
Utilizando o software Autodesk Inventor 2012 versão estudante foi desenvolvido uma concepção de bancada experimental, que pode ser configurada em dois tipos. O primeiro projetado para ensaios de estruturas com quatro pontos de apoio, como o de pequenos automóveis, e o segundo projetado para ensaios de estruturas com dois pontos de apoio, como o de chassis de motocicletas. Estas duas configurações podem ser obtidas a partir de fáceis adaptações. Abaixo, as duas configurações:

Figura 4: Configuração para estruturas de 4 pontos de apoio.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5: Configuração para estruturas de 2 pontos de apoio.



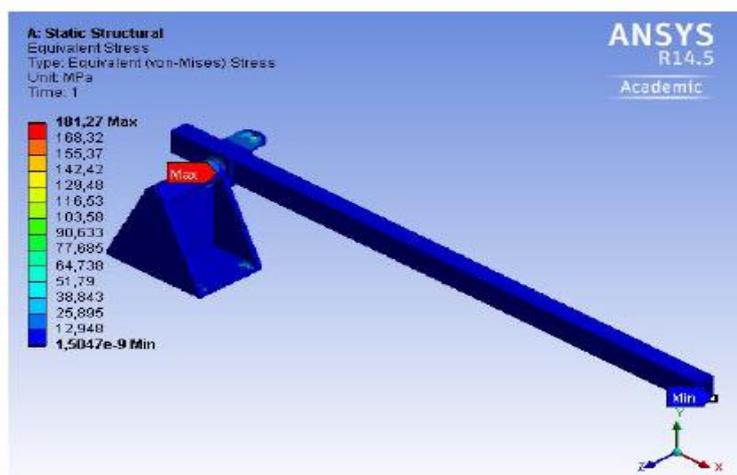
Fonte: Autoria própria.

Como parte do projeto preliminar, a simulação dos esforços nos quais a bancada será submetida foi feita. Esta foi realizada utilizando o programa ANSYS R14.5, fazendo a análise de tensão e deformação dos conjuntos de componentes mais críticos da bancada, que são o subsistema de carregamento e o conjunto do componente de fixação traseira na configuração para dois pontos de apoio.

Para o subsistema de carregamento, o torque utilizado na simulação foi de 500 N.m. Este valor foi tomado como uma referência baseada nos trabalhos experimentais de

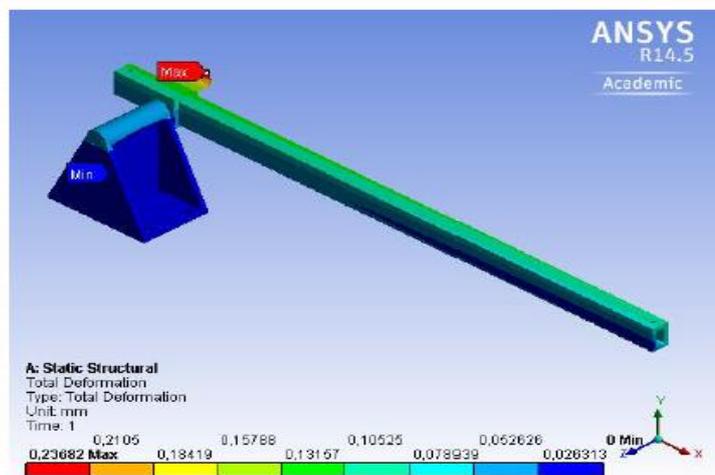
(FERNANDO, 2012) e esse torque no equipamento é obtido utilizando-se uma carga de 50 kg, com a distância do braço de alavanca em 1 m do ponto de aplicação da carga ao eixo de rotação, obtendo-se os seguintes resultados:

Figura 6: Tensões no subsistema de carregamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Deformações no subsistema de carregamento.

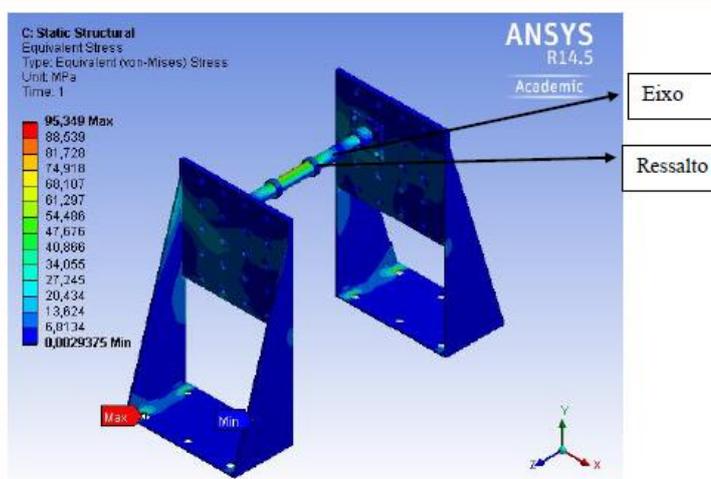


Fonte: Autoria própria.

Como exposto nas figuras acima, a máxima tensão é de 181,27 MPa no eixo de carga, bem próximo ao mancal, o que mostra que se pode utilizar um aço comum com limite de escoamento na faixa de 210 MPa para fabricação dos mesmos. As deformações foram baixas com a máxima de 0,23682 mm na região de encaixe do elo ao eixo de carga, o que também se adequam as necessidades deste projeto.

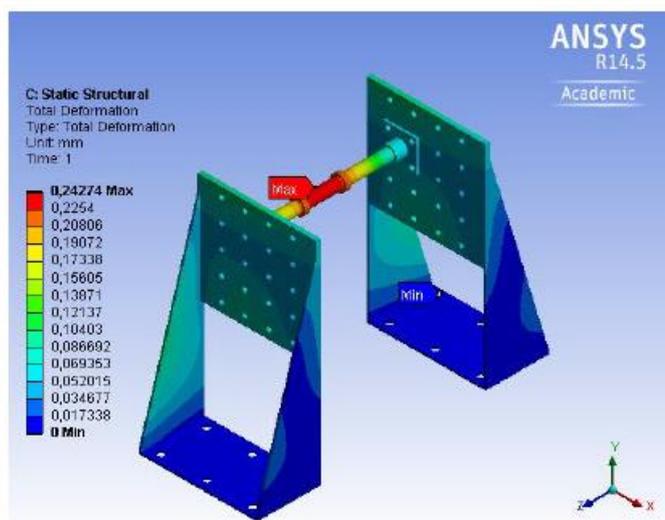
Para a simulação do conjunto de componentes de fixação traseiro na configuração de dois pontos de apoio, criou-se uma situação crítica onde a estrutura é fixada próxima ao plano de simetria do eixo da ferramenta, com uma distância mínima de 45 mm. Para facilitar a simulação modelou-se dois ressaltos exemplificando o encaixe da estrutura, onde o torque de 500 N.m foi aplicado, obtendo-se os seguintes resultados:

Figura 8: Tensões no conjunto de componentes de fixação traseira.



Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Deformações no conjunto de componentes de fixação traseira.



Fonte: Autoria própria.

Conforme mostrado acima, a máxima tensão é de 95,384 MPa nos furos da base, fazendo com que se possa utilizar um aço comum com limite de escoamento na faixa de 210 MPa para fabricação dos mesmos. As deformações foram baixas, com a máxima de 0,24274

mm na região entre os dois ressaltos no eixo, o que também se adequam as necessidades deste projeto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme tudo o que foi exposto no trabalho apresentado, foi possível a concepção de uma bancada experimental para ensaio de estruturas veiculares de pequeno porte, constituída de 4 subsistemas e 25 componentes e que, em relação a estrutura a ser ensaiada, apresentam as seguintes características: ajuste de altura, comprimento e largura, possibilidade de fixação de diversas formas e ainda permite o controle preciso do torque.

Como sugestão para trabalhos futuros, há a possibilidade de dar continuidade ao projeto preliminar e detalhado, seguindo para as outras fases que são a de construção e teste do protótipo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, que contribui constantemente para o desenvolvimento nacional e o reconhecimento das instituições de pesquisa e pesquisadores brasileiros pela comunidade científica internacional.

REFERÊNCIAS

BROWN, Jason C, Robertson, A. John, Stan T. **Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals**, Ed: Butterworth Heinemann, London, 2002;

CHANDRA, M. R. “**Modeling and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Made of Polymeric Composite Material by Three Different Cross Sections**”, Journal of Mechanical and Production Trans Stellar.(2012);

FERNANDO, C. G. O. “**Avaliação da rigidez torsional de uma estrutura veicular tipo space frame pelo método de elementos finitos com estudo de caso**”; 16° POSMEC. FEMEC/UFU, Uberlândia-MG, 2006;

FERNANDO. S.S.**Desenvolvimento de um chassis automotivo para um veículo elétrico de pequeno**; Revista de Iniciação Científica da ULBRA - N°10/2012;

GILLESPIE, Thomas D., **Fundamentals of Vehicle Dynamics**, Society of Automotive Engineers Inc.; USA, 1992;

HAPPIAN, J.S. “**An Introduction to Modern Vehicle Design**”; ISBN 0 7680 0596 5 ON – R-295; Society of Automotive Engineers, Inc.; Reed Educational and Professional Publishing; 585p.2002;

MÁRCIO. S. C. **Uma metodologia para melhoria da rigidez torcional de componentes estruturais automotivos**; Universidade Federal de Santa Catarina.2008;

MILLIKEN, W.F. **Race Car Dynamics**, Society of Automotive Engineers Inc., 3° Edition, USA, 1995;

SAMUEL.G.S. **Diseño y simulación de una Bancada de pruebas para el Chasis de una motocicleta**; Universidad Carlos III de Madrid. 2011;

THOMPSON, L.L. “**Design of a Winston Cup Chassis for Torsional Stiffness**”; SAE Technical Paper Series No. 983053 – Motorsports Engineering Conference Proceedings Volume 1: Vehicle Design and Safety; Dearborn, Michigan, USA. 1998.