



21-25  
AGOSTO DE 2016  
FORTALEZA - CEARÁ

## ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE FREIO PARA UMA MOTOCICLETA DE COMPETIÇÃO UNIVERSITÁRIA CON – 2016 – 1382

Alexandre Magno Vieira Gonçalves de Brito, alexandreh\_magno@hotmail.com<sup>1</sup>

Franklin Lacerda de Araújo Fonsêca Junior, redhot.franklin\_p@hotmail.com<sup>1</sup>

Rafael Dimitri Queiroga da Silva, rafaeldimitriq@gmail.com<sup>1</sup>

Italo Manoel de Souza Silva, italo.manoel@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Cidade Universitária, Castelo Branco, João Pessoa - PB, CEP: 58051-900

**Resumo:** A quantidade de automóveis no país cresce consideravelmente ao longo dos anos. Cidades de grande porte são contempladas por enormes engarrafamentos todos os dias. Uma solução para as pessoas que não podem se dar ao luxo de se prejudicar com o trânsito é a utilização de um veículo motorizado sobre duas rodas conhecida por motocicleta, já que este tipo de automóvel é uma alternativa para evitar esses problemas do cotidiano. Infelizmente a motocicleta não oferece tanta proteção quanto um carro e fica mais sujeita a riscos de acidente, uma das maneiras de evitar acidentes é estar sempre utilizando os aparatos de segurança e conferindo se sua moto possui um bom sistema de freio, já que em alguma tentativa de prevenção de acidente a reação instantânea é a utilização do freio. Com a criação de motocicletas com maiores potências a necessidade de criar um sistema de freio de alta qualidade é imprescindível, já que é obrigação do consumidor exigir de quem vai produzir este tipo de veículo uma máxima segurança. Na indústria de motocicletas atualmente os sistemas de freios mais utilizados são denominados: Freio a tambor, a disco e ABS tendo o conhecimento de que o diferencial para a escolha do sistema seja a cilindrada. Uma oportunidade muito boa para os estudantes de engenharia que gostam deste tipo de automóvel é que já existe uma competição de nível internacional promovida pela MEF (Moto Engineering Foundation) que terá sua IV edição realizada na Espanha, permitindo a possibilidade aos estudantes de nível universitário criarem uma motocicleta para competir, em várias modalidades conforme a competição exija, promovendo futuras oportunidades no mercado automobilístico além de premiações para as equipes vencedoras. Este artigo propõe uma análise e desenvolvimento de um sistema de freio produzido para uma motocicleta de 250cc (cilindradas), que possa cumprir com êxito todos os testes de frenagem que a moto venha a ser submetida. A utilização do software ANSYS é essencial para o cálculo das tensões no disco de freio, permitindo assim avaliar se o disco projetado é de fato adequado para a motocicleta. O software SolidWorks vai ser encarregado de projetar uma simulação dos discos de freio (dianteiro e traseiro). Além do embasamento teórico utilizando formulas corretas para dimensionar um sistema de freio teremos a possibilidade de pôr em prática todos estes estudos, proporcionando assim conhecimento a todos os alunos que estão responsáveis por este setor obtendo por consequência a competência de elaborar um freio eficiente para a motocicleta.

**Palavras-chave:** Análise e dimensionamento, Sistema de freio, competição universitária.

### 1. INTRODUÇÃO

O governo brasileiro através de políticas de incentivo ao consumo como, por exemplo empréstimo nos bancos federais e reduções nos impostos sobre os produtos industrializados (IPI) fizeram com que a viabilização do consumidor adquirir seu veículo próprio se tornasse uma prática bem mais favorável. O crescimento das vendas favorecendo grande parte da população fez surgir um grande aumento de veículos nas cidades. Assim, com essa multiplicação de veículos, as cidades não projetadas sofrem com congestionamentos quilométricos gerando grande fluxos de veículos nos principais pontos de tráfego. Como alternativa de fuga dessas grandes filas de automóveis a população têm aderido às motocicletas como forma de redução de tempo no trânsito, mobilidade interurbana além do baixo custo em manutenção.

Em décadas anteriores, as motocicletas eram fundamentalmente um instrumento de lazer, mas nos dias atuais tornou-se ferramenta de trabalho, o que se justifica pelo seu baixo custo e pelas inúmeras facilidades de aquisição

(ROCHA, SCHOR, 2012). A utilização em grande escala trouxe também uma quantidade considerável de acidentes envolvendo motocicletas ocorridas diariamente no país, sendo uma das maiores taxas de mortalidade por acidente de motocicleta do mundo. Logo, a utilização de equipamentos de segurança individual (EPI) quando for utilizar este tipo de veículo torna-se indispensável.

A primeira reação do motorista que está pilotando uma moto ao se deparar com algum perigo no trânsito que seja difícil de desviar é a utilização do freio. Por isso, é muito importante este equipamento que também o assegura de evitar ou reduzir o dano causado no caso de acontecer algum acidente. Sobre os freios, existem diversos tipos utilizados na motocicleta dentre eles são: Freio a tambor que é geralmente utilizado para motos até 150 cilindradas considerada como de baixa cilindrada; Freio a disco para motocicletas de até 250 cilindradas classificado como de média cilindrada e por fim Freio ABS que já é utilizado para motocicletas com maior potência, com motores de 250 cilindradas ou mais.

Para a realização da frenagem na motocicleta além do tipo de freio utilizado é necessário ainda possuir os seguintes componentes: Pastilhas e pinças de freio. Todos estes componentes juntos formam o sistema de freio sendo considerado uma combinação de peças onde seu objetivo é reduzir de maneira progressiva a velocidade da motocicleta em movimento, podendo ainda fazê-la parar ou conservá-la imóvel se a moto já estiver parada.

Portanto, este estudo tem como objetivo geral analisar e dimensionar um sistema de freio para uma motocicleta de 250cc (cilindradas) que seja coerente com as regras da competição Motostudent. A competição MotoStudent é realizada pela Moto Engineering Foundation (MEF), é uma competição de nível internacional localizada na Espanha para estudantes universitários, onde equipes de todos os continentes do mundo vem competir querendo mostrar sua capacidade e habilidade com a motocicleta. O objetivo que a competição busca é a criação do melhor protótipo de uma moto de corrida, onde todas as dimensões e requisitos de segurança são estipulados no regulamento (MEF, 2015). Ainda segundo o regulamento, o único sistema de freio que pode ser utilizado é o sistema de freio a disco. Utilizou-se como procedimento metodológico, pesquisas bibliográficas sobre a temática e regulamento da competição além da utilização do softwares Solidworks para o dimensionamento dos discos de freio (dianteiro e traseiro) e o software Inventor para os testes do torque das tensões com a finalidade de estudar se os discos estão aptos a realizar toda a frenagem sem que ocorra algum prejuízo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O SOLIDWORKS é um software de CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering) que foi criado em dezembro de 1993 pela SolidWorks Corporation. Em 1997, a empresa Dassault Systèmes o adquiriu. A sede da empresa se encontra em Waltham, Massachusetts, EUA. A versão atual do programa é o Solidworks 2016.

O Solidworks utiliza ferramentas SDK (Software Development Kit) que possibilitam simular, publicar e gerenciar dados. Para a engenharia o software possui ferramentas para a análise de elementos finitos (FEA), dinâmica de mult corpos (MDB) dinâmica computacional de fluidos que segundo Nakamura et. al. (2003) são importantes ferramentas para a viabilização de um projeto de produto em tempos reduzidos, oferecendo oportunidade para simulação e redução dos custos na fase de desenvolvimento do produto.

Para o desenvolvimento de um produto, como o disco de freio, o uso Solidworks é ideal, pois o uso do CAD com foco principal em desenho em 3 dimensões formando sólidos é de fácil manuseio, que pode ser feito com relativa rapidez. O disco de freio feito pode ser utilizado em varios outros programas de CAE, essa elevada compatibilidade de um sólido feito no Solidworks com outros programas auxilia na economia de um projeto pois refazer todo o desenho para utilizar um outro programa iria elevar muito o custo.

O SolidWorks também utiliza, além do CAD, o CAE em conjunto com seus programas de simulação: Solidworks Simulation e SolidWorks Flow Simulation. Os softwares CAE utilizam descrição do objeto que se pretende estudar em elementos finitos, o subdividindo em várias seções, essas seções podem ter geometrias e tamanhos diferentes de acordo com o objetivo do estudo, cada subdivisão é delimitada por linhas e pontos, esses pontos são também conhecidos por nós, cada nó pode possuir uma gama de informações e podem interagir entre si.

Para o estudo dos efeitos em um disco de freio, onde pretende-se simular os efeitos do torque produzido pela pressão proveniente do fluido de pressurizado que aciona os pistões da pinça de freio, essa capacidade de possuir em um só programa o CAD e o CAE além de economizar custos também economizou tempo e a necessidade de aprender a utilizar um outro programa.

O SolidWorks é tido como uma ferramenta importante de análise de tensões nas peças projetadas (Amaral, Renato; Pina, Armando). O SolidWorks Simulation permite a realização de testes que simulam o mundo real, para testes de design, durabilidade, reposta dinâmica e estática, movimentos, transferência de calor, dinâmica do fluxo de fluido e moldagem por injeção de plásticos para avaliar o desempenho do projeto e aumentar a qualidade e a segurança do produto. O SolidWorks Flow Simulation é utilizado para a análise da transferência de calor, forças do fluido e escoamento do fluido.

A análise de estruturas provavelmente é a aplicação mais comum do método de elementos finitos, sendo que o termo estrutura não se aplica apenas estruturas de engenharia civil, mas também estruturas navais, aeronáuticas e mecânicas.

O software ANSYS é uma renomada ferramenta que é utilizada para a realização de diversas simulações de análise física através do método dos elementos finitos (FEM) e método dos volumes finitos (FVM). Atualmente é utilizado por diversas indústrias para realizar análises estruturais, térmicas, fluidodinâmicas, eletromagnéticas, de fadiga, de fratura e de transformação de fases (ANSYS, 2016).

O pacote ANSYS utilizado no projeto foi o de análise estrutural, que nos permite resolver problemas complexos sobre este tema, além de se conectar facilmente a outras ferramentas de análise física, proporcionando ainda maior realismo em prever o comportamento e o desempenho de estruturas mais complexas.

O presente estudo utilizou o ANSYS para realização da simulação utilizando o modelo de análise de elementos finitos, onde utilizamos o material structural steel que é utilizado em simulações genéricas com peças de aço.

## 2.1 Análise e Dimensionamento do Sistema de Freio

Para calcularmos o diâmetro efetivo do freio, a variável mais importante a ser calculada é a do torque de frenagem necessário tanto para o freio traseiro quanto para o dianteiro. Como alguns parâmetros de cálculo são diferentes para o disco dianteiro e traseiro faremos uma análise separadamente para cada disco.

Começando a análise pelo disco dianteiro teremos que o torque de frenagem dianteiro será calculado mediante a Eq.(1):

$$T_{frenagem} = (F_f \cdot R_p + I_w \cdot \omega_w) \quad (1)$$

Onde a força de frenagem do pneu dianteiro vai depender da massa que será transferida para si durante a frenagem da motocicleta. Ao calcularmos a transferência de carga teremos a força de frenagem do pneu dianteiro e em seguida o raio efetivo de giração, este raio varia de pneu para pneu, para que não haja problemas a competição estipulou no regulamento que o pneu dianteiro exigido seja o Dunlopmodel KR149 M size: 95/70R17 (MEF, 2015).

Após obter o valor do raio, o momento de inércia do pneu é calculado. O último parâmetro a ser calculado é a aceleração angular onde a competição determina que a moto terá que frear a uma velocidade de 80 km/h possuindo uma distância de cem metros para concluir seu objetivo, depois de obter todos estes parâmetros conseguimos obter o torque de frenagem dianteiro com um valor de 576,23 N.m.

Para a realização da frenagem dianteira é necessário que o condutor com a mão direita acione a peça responsável para dar início a frenagem conhecida como manete de freios, a força desenvolvida por esse manete será igual a força do fechamento da mão do condutor que para um homem adulto é avaliado em média de 360N (KROEMER, GRANDJEAN, 2005). Com a força desenvolvida podemos calcular a pressão que será transmitida pelo cilindro mestre para os pistões das pinças de freio em torno de 3000kpa. Utilizando a Eq.(2)

$$F_{fechamento} = (P_{pistão} \times A \times \mu_{pastilha}) \quad (2)$$

Sabendo que estamos tratando da pressão e área do pistão e do coeficiente de atrito das pastilhas de freio, temos que o valor da Força de Fechamento será de 4374N. O torque de frenagem se relaciona diretamente com a força de fechamento das pinças de freio e sabendo que o raio efetivo do disco de freio é feito através da seguinte Eq.(3)

$$T_{frenagem} = (F_{fechamento} \times R_{efetivo}) \quad (3)$$

Logo o resultado para o raio efetivo do disco será de 131,7mm. Com posse deste valor e utilizando um coeficiente de segurança em torno de 1,1 possuiremos um disco de freio dianteiro com aproximadamente 290mm.

Analisando o disco de freio traseiro para a obter do torque, utilizou-se novamente a Eq. (1) já vista anteriormente no freio dianteiro, porém todas as variáveis serão sujeitas a alterações a começar pela na força de frenagem, sabendo que esta força vai depender apenas da massa da transferência de carga do pneu dianteiro para o traseiro enquanto a motocicleta está freando.

O pneu traseiro é diferente do dianteiro como explicado anteriormente, a competição exige que seja o Dunlopmodel KR133 C size: 115/70R17 (MEF, 2015). Por ser outro tipo de pneu alterações serão ocorridas no raio efetivo de rolagem e por consequência mudanças no momento de inércia. A aceleração angular terá outro valor já que houve mudança no raio efetivo de rolagem, depois de todas essas modificações o Torque de Frenagem é desenvolvido com o valor de 21.335N.m.

O acionamento do sistema de freio traseiro não é feito pelo manete e sim pelo pedal da motocicleta, essa força de acionamento é calculada para adultos em média de 445N. A força de fechamento da pinça é estipulada como sendo igual a força de acionamento do pedal, corrigindo com o coeficiente de atrito das pastilhas de freio a força de fechamento obtida é de 200,25N (LIMPERT, 1999).

Após achar todas as incógnitas necessárias e as substituindo na Eq.(3) conseguimos alcançar o valor do raio efetivo do disco traseiro sendo 106mm, utilizando o coeficiente de segurança 1,1 o disco de freio traseiro possuirá uma medida de 233.2mm.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após averiguar todas as variáveis conseguindo obter o raio efetivo dos discos dianteiro e traseiro, utilizando o software Solidworks juntamente com sua grande quantidade de ferramentas para desenvolver corpos sólidos, foi possível projetá-los utilizando como base modelos de discos de freio que são vendidos comercialmente.



**Figura 1 - Disco dianteiro elaborado pelos autores**



**Figura 2 – Disco Traseiro elaborado pelos autores**

Feito os desenhos, o próximo passo é fazer algumas análises estruturais para saber se o mesmo está apto para utilização. Transportando os corpos dos discos para o software ANSYS teremos a capacidade de realizar experimentos em todo seu corpo para detectar possíveis falhas. Foram escolhidos dois ensaios de tensões para a execução dos testes: Teoria do Cisalhamento Máximo e Teoria de falha por Von Misses.

Sabendo que a Teoria da Tensão de Cisalhamento Máxima prediz que o escoamento começa sempre que a tensão de cisalhamento máxima em qualquer elemento se torna igual ou excede a tensão de cisalhamento máxima em um corpo de prova de ensaio de tração do mesmo material quando aquele corpo de prova começa a escoar. A teoria de cisalhamento máxima também é conhecida como teoria de Tresca ou Guest (BUDYNAS, NISBETT, 2011).

Mesmo sabendo que a teoria de cisalhamento máxima possa suprir uma tese razoável para escoamento em materiais dúcteis é necessário utilizar outros métodos para a certeza do que se está pesquisando. A energia de distorção máxima tem uma melhor relação com os dados experimentais, sendo assim na maioria das vezes até mais requisitada. Para que não haja dúvidas sobre o comprometimento do material os dois ensaios de tensão serão realizados.

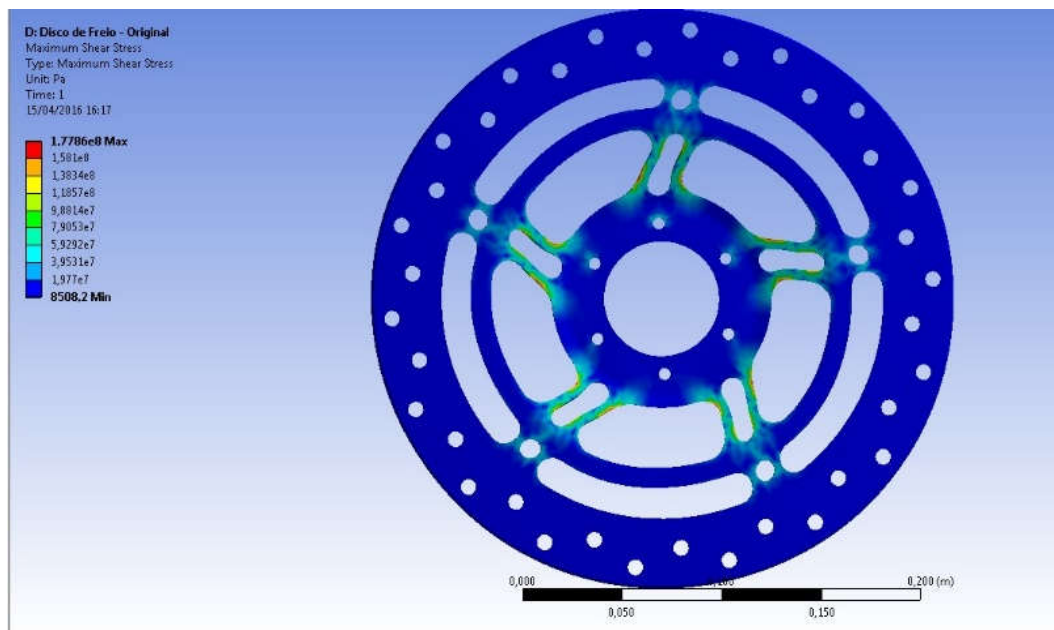


Figura 3 – Corpo estrutural do disco dianteiro analisado por tensão de cisalhamento máximo

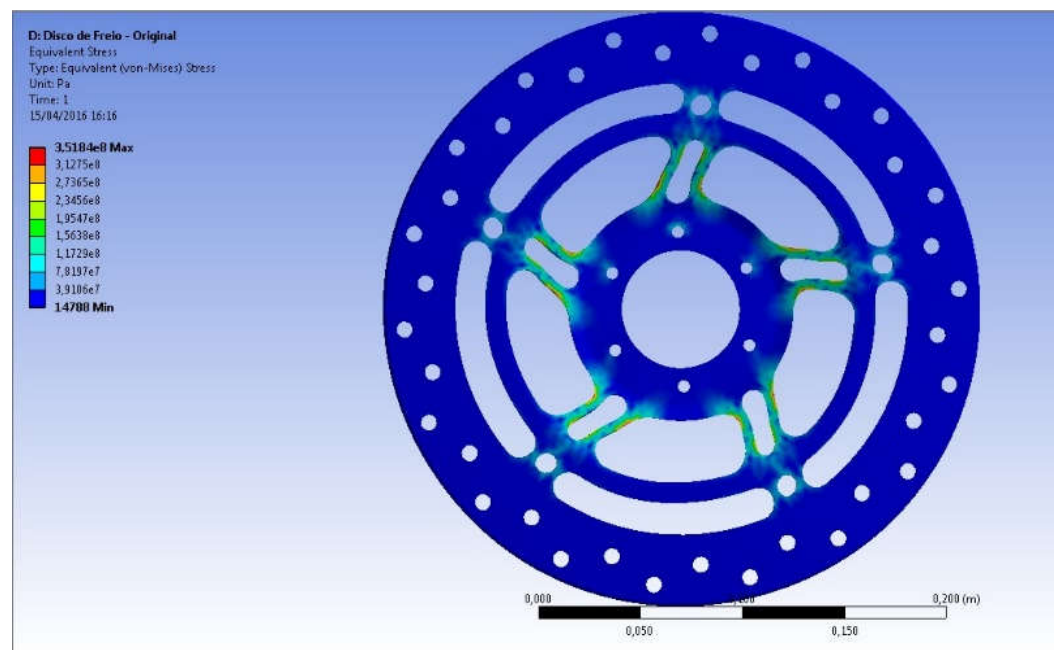


Figura 4 – Corpo estrutural do disco dianteiro analisado pela teoria de Von-Misses

Tendo conhecimento que o aço utilizado para a criação do disco dianteiro esco a 250Mpa, e tomando por conhecimento os ensaios feitos por cisalhamento máximo e por Von-Misses é perceptível que o mesmo não vai suportar os esforços quando o torque de frenagem for aplicado nos testes da competição, já que o material que fixa o centro do disco está todo comprometido. Após vários estudos, foi decidido reforçar este material e refazer as simulações para saber se o disco estaria apto para utilização.

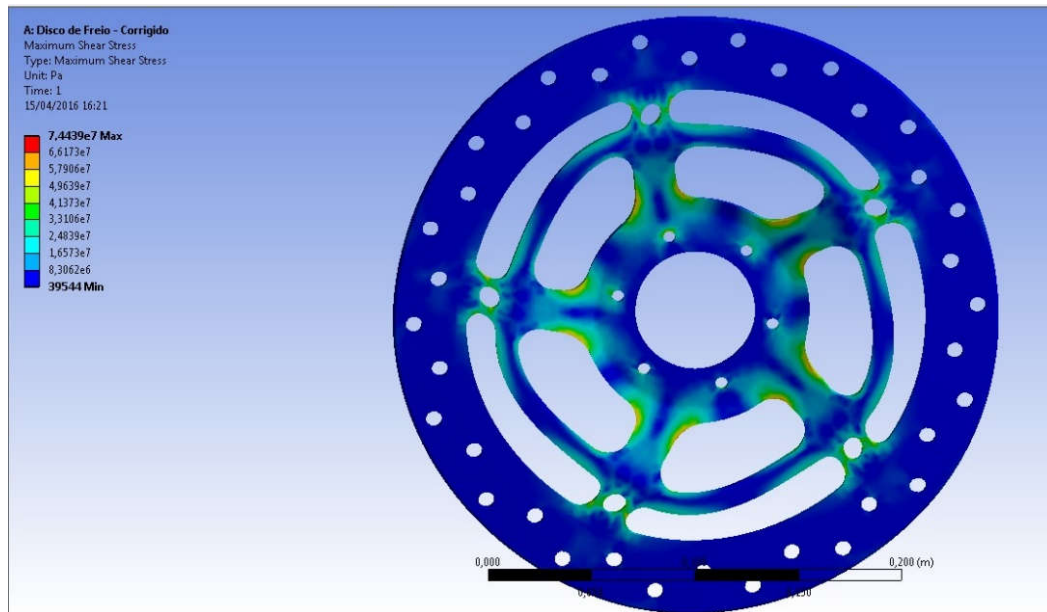


Figura 5 – Disco dianteiro corrigido sendo analisado pela tensão de cisalhamento máxima

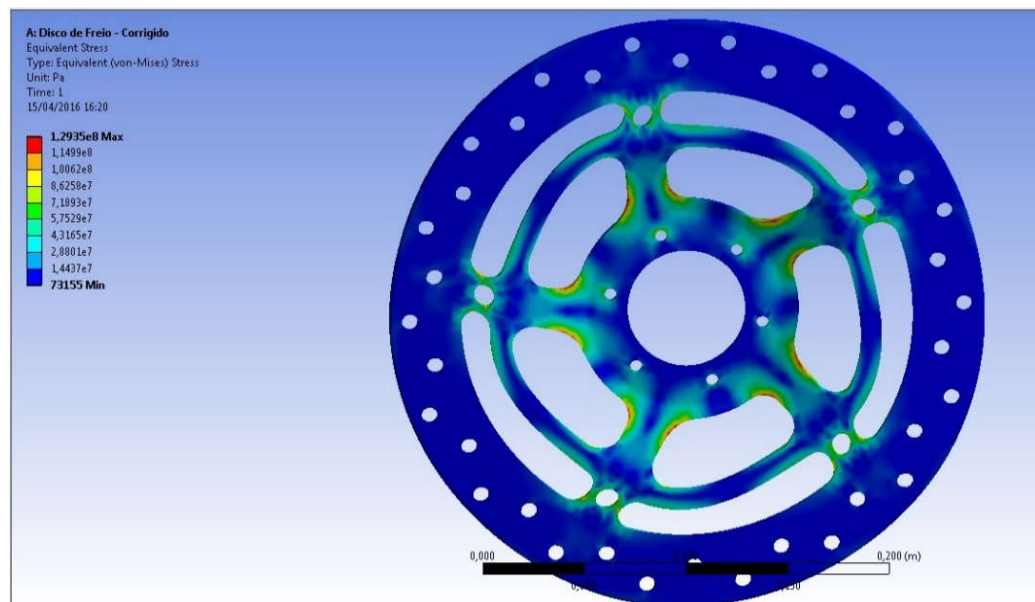
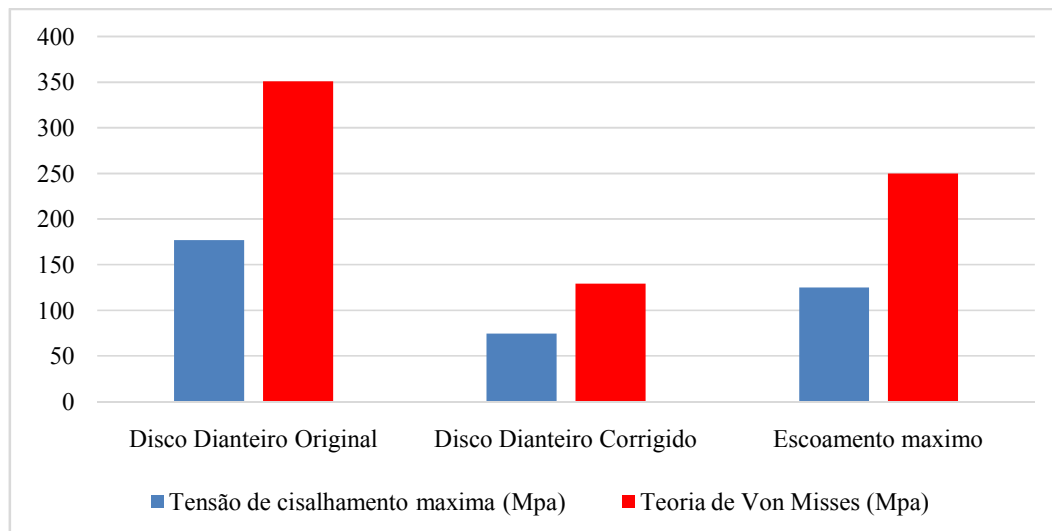


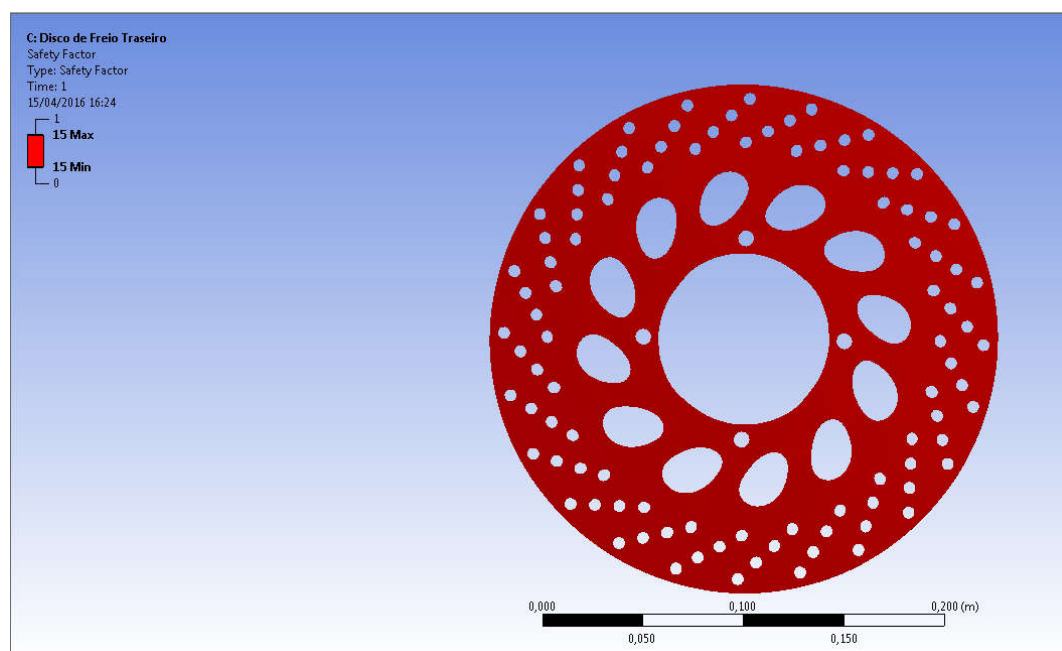
Figura 6 – Disco dianteiro corrigido sendo analisado pela teoria de Von-Misses.

Após o preenchimento da parte da estrutura do disco que estava colocando em risco todo o projeto, percebeu-se pelos ensaios que os resultados mostram valores de tensão bem abaixo do limite máximo de escoamento tanto para tensões de cisalhamento máximo como pela teoria de Von-Misses, certificando que os estudos para a realização deste disco de freio estão aptos para a sua construção e em seguida para a competição universitária Motostudent. A Fig. (7) a seguir foi construída com o intuito de mostrar as análises do disco dianteiro, antes e depois das correções.



**Figura 7 – Analise das tensões no disco dianteiro**

Para o trabalho do disco de freio traseiro houve uma maior facilidade já que no momento da frenagem, uma grande carga é transferida para o pneu da frente, fazendo com que seu torque de frenagem seja bem menor se for comparado ao dianteiro. Fazendo as simulações e aplicando as tensões de cisalhamento máximo e pelo teorema de Von-Misses chegou-se ao seguinte resultado.



**Figura 8 – Disco de freio traseiro analisado pelo fator de segurança.**

Analisando as tensões aplicadas no disco traseiro e colocando em função do coeficiente de segurança é possível perceber que o disco traseiro está apto para uso. Através da simulação pode-se observar que para este disco começar a apresentar algum problema teria que ser aplicado um torque de frenagem quinze vezes maior. Portanto, diante dos cálculos realizados, obteve-se que este disco está assegurado para competir.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desenvolveu um sistema de freios para competição com maior objetivo para os discos de freio, já que os demais componentes do sistema de freio é fornecido pela competição. Foi necessário realizar vários ensaios de tensões nos discos de forma a garantir uma melhor eficiência e, que nenhum imprevisto ocorra durante a competição. Para trabalhos futuros é válido que sejam feitos novos estudos e análises sobre o uso de diferentes materiais para os discos de freio como exemplo da cerâmica e alumínio além de um estudo sobre o aquecimento que ocorrem nos discos e a dissipação desse calor.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ANSYS Help Viewer. 2014. Guia fornecido pela ANSYS.
- ANSYS Training Manual. Introduction to ANSYS: Meshing Methods. 2014.
- Amaral, Renato; Pina, Armando. A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia. Nono Simpósio de Mecânica Computacional, Universidade Federal de São João Del-Rei – MG 26 a 28 de maio de 2010.
- Leão, Lucas. CAD, CAE e CAM: qual a diferença? Disponível em <http://www.cim-team.com.br/blog-engenharia-eletrica-moderna/cad-cae-e-cam-qual-a-diferenca> Acesso em abr. 2016
- Limpert. R. Brake Design and Safety, 2ªed., USA, 1999.
- Nakamura, Edson et. al.. Utilização de ferramentas CAD/CAE/CAM no desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: vantagens e desafios. T&C Amazônia, Ano 1, nº2, Jun de 2003.
- Plataforma CAD 3D da SolidWorks traz vantagens à Indústria Schneider. Disponível em <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/1595-plataforma-cad-3d-da-solidworks-traz-vantagens-a-industria-schneider/> Acesso em abr. 2016
- Rocha, Schor. Acidentes de motocicleta no município de Rio Branco: caracterização e tendências. In: Ciênc. Saúde coletiva vol. 18 nº 3 Rio de Janeiro Mar. 2013.
- Rego, Renato. A inserção do Solidworks no desenvolvimento de projetos. Disponível em <http://imasters.com.br/artigo/9790/http://imasters.com.br/artigo/9790/design/a-insercao-do-solidworks-no-desenvolvimento-de-projetos/> Acesso em abr. 2016
- Shigley, J.E. Elementos de Máquinas, 8ªed., AMGH, São Paulo, 2011.
- Solidworks. Disponível em <http://www.solidworks.com> Acesso em abr. 2016

#### 6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

## ANALYSIS AND DIMENSIONING OF A BRAKE SYSTEM OF A MOTORCYCLE FOR AN UNIVERSITY COMPETITION CON – 2016 – 1382

Alexandre Magno Vieira Gonçalves de Brito, alexandre\_magno@hotmail.com<sup>1</sup>  
Franklin Lacerda de Araújo Fonsêca Junior, redhot.franklin\_p@hotmail.com<sup>1</sup>  
Rafael Dimitri Queiroga da Silva, rafael.dimitriq@gmail.com<sup>1</sup>  
Italo Manoel de Souza Silva, italo.manoel@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Cidade Universitária, Castelo Branco, João Pessoa - PB, CEP: 58051-900

**Abstract.** The quantity of vehicles in the country grows in creasingly. Large cities are covered by huge traffic jam severy day. A solution for those people who can't afford to be affected by the traffic is using a motorcycle; this type of vehicle is an alternative to prevent these day today problems. Unfortunately his set back is that the motorcycle does not offer as much protection as a car, and may be proneto accidents, one way to avoid this type of accident is starting with the brake system since in any attempt to accident prevention first measure to be taken is to use the brake. With the creation of motorcycles with higher powers the necessity to create a high quality brake system is essential, since is the consumer's obligation require maximum security while him ride his bike. In the motorcycle industry currently the most commonly used brake systems are three: brake drum, discand ABS the choice of the system to be used is different iate by is its power. A very good opportunity for engineering students who enjoy this type of vehicles is there is for some years an international level competition that enables university-level students to create a motorcycle to compete in various type soft trials, promoting new market opportunities plus awards. This article proposes an analysis and development of a brake system produced for a 250cc motorcycle (engine capacity). The utilization of ANSYS software is essential for the calculation of heat dissipation, thus allowing to evaluate if the projected discs in fact suitable for the motorcycle.

**Keywords:** Analysis and dimensioning; Brake system; University competition