



ANÁLISE DE UM SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TORQUE DINÂMICO DE UM MOTOR DIESEL ¹

João Marcelo Gonçalves dos Santos² e Lucas Schwertner³

¹ Pesquisa correlata ao trabalho de conclusão de curso “Sistema para medição de torque de um motor diesel estacionário”.

² Estudante do curso de graduação em Engenharia Mecânica da Unijuí.

³ Egresso do curso de graduação em Engenharia Mecânica da Unijuí.

INTRODUÇÃO

O presente artigo trata sobre a análise de deformação de um conjunto de quatro células de carga acopladas a um motor diesel OM 352, utilizadas para a implementação de um sistema de medição do torque do motor. As células estão fixadas em um alinhamento preciso, garantindo que o centro do eixo do virabrequim do motor esteja centralizado ao plano médio das células de carga, permitindo a medição em tempo real do torque fornecido pelo motor. O estudo utiliza a análise de simulação FEA - *Finite Element Analysis* do *software* do *software* SolidWorks, para validação do conceito. Esta ferramenta disponibiliza uma gama de recursos para análise de projetos, permitindo a simulação em diferentes condições para validar o projeto em um ambiente virtual. Além disso, o *software* proporciona uma visualização de sólidos paramétricos, facilitando a identificação de possíveis falhas em um produto.

METODOLOGIA

De acordo com Hibbeler (2010), o torque é uma força que causa rotação em um corpo em torno de um eixo. A força de aplicação deve ser perpendicular ao eixo, se aplicada em um ângulo diferente de 90° graus, essa força deve ser decomposta. O torque pode ser descrito pela equação 1, onde, T , é o torque em (N.m), r é o raio de aplicação da força em (m) e f a força aplicada em (N). A potência por sua vez, relaciona o torque aplicado ao eixo com a velocidade angular do mesmo, podendo ser expressa conforme a equação 2, onde P é a potência em (W), T é o torque em (N.m) e ω é a velocidade angular em (rad/s).

No SI (Sistema Internacional de Unidades de Medida), a potência é expressa em watts quando o torque é medido em newtons-metro (1 N.m) e w é expressa em radianos por segundo (rad/s) (1 W = 1 N · m/s)” de acordo com (HIBBELER, 2010, p.134).



$$T = r * f \quad (1)$$

$$P = T * \omega \quad (2)$$

Quando um corpo é submetido a uma carga externa, ocorre uma distribuição da força que age sobre a área da seção, a intensidade em um ponto da área submetida é denominada tensão. A distribuição da tensão normal média, é descrita na equação 3, onde σ é a tensão normal média na seção transversal (Pa), F é a força normal (N), e A é a área da seção transversal (m^2).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

A medição da força a partir de um *strain gauge* ou sensor piezoresistivo, se dá através da variação da resistência elétrica do sensor (ΔR) expressa em (ohm) que é obtida através da equação 4, onde GF ou *gauge factor* é uma constante que caracteriza a sensibilidade do sensor de deformação, R_0 é a resistência inicial do sensor (ohm) e ϵ é o *strain* da célula de carga.

O *strain* é obtido através da equação 5, referente a lei de Hooke, onde ϵ é igual ao *strain* ou deformação, E é o módulo de Young do material em (Pa) e σ é a tensão mecânica no corpo dada em (Pa).

$$\Delta R = GF \cdot R_0 \cdot \epsilon \quad (4)$$

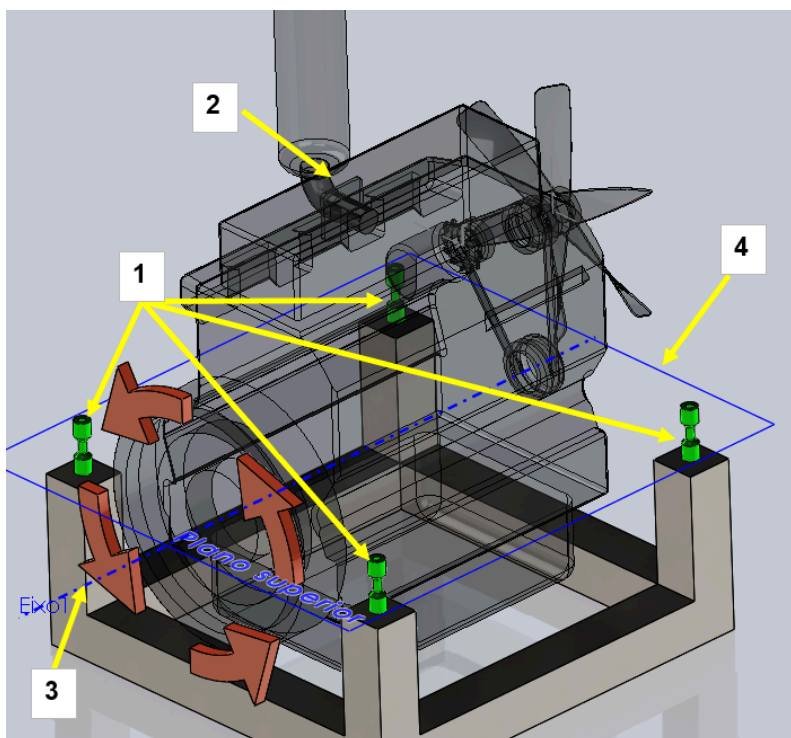
$$\epsilon = \sigma / E \quad (5)$$

Para a obtenção da tensão mecânica nas células de carga foi utilizada a ferramenta de FEA - *Finite Element Analysis* do software SolidWorks. Para tal, foi elaborada uma maquete eletrônica da bancada de teste apresentada na figura 1, abrangendo as células de carga (1), o motor (2), e a estrutura de fixação do motor. Além dos componentes mecânicos da bancada, estão destacados o eixo de rotação “virabrequim” do motor (3), e o plano central das células de carga (4), que é coincidente ao eixo de rotação.

Com o intuito de realizar a simulação, o modelo foi simplificado, mantendo apenas as células de carga e substituindo os demais componentes por condições de contorno. A base de fixação foi substituída por faces fixas, que impedem o deslocamento em todos os sentidos, o motor foi substituído por uma força de torque aplicada, considerando o eixo de rotação como origem. Foi adicionada também, uma carga referente a massa do motor.



Figura 1: Maquete eletrônica do sistema.



Fonte: Autores.

As células de carga foram dimensionadas conforme a massa do motor diesel de 308 kg, utilizando uma barra de aço SAE 1045, com módulo de elasticidade de 205 GPa, com diâmetro de 1 polegada sem tratamento térmico, a barra foi usinada em um torno convencional. A validação das células ocorreu através de um paquímetro digital e um micrômetro de precisão 0-25 garantindo as tolerâncias necessárias.

O motor diesel utilizado neste estudo é o OM 352 da marca Mercedes-Benz, que possui potência máxima de 130cv em 2800 rpm, o torque máximo deste motor ocorre em 2000 rpm e é de 363 N.m. A admissão é aspirada e a injeção de combustível é realizada por uma bomba mecânica. Os motores de ciclo diesel são aplicados em veículos de rodoviários, marítimos e geradores, possui formas construtivas robustas, proporcionando o trabalho em altas taxas de compressão.

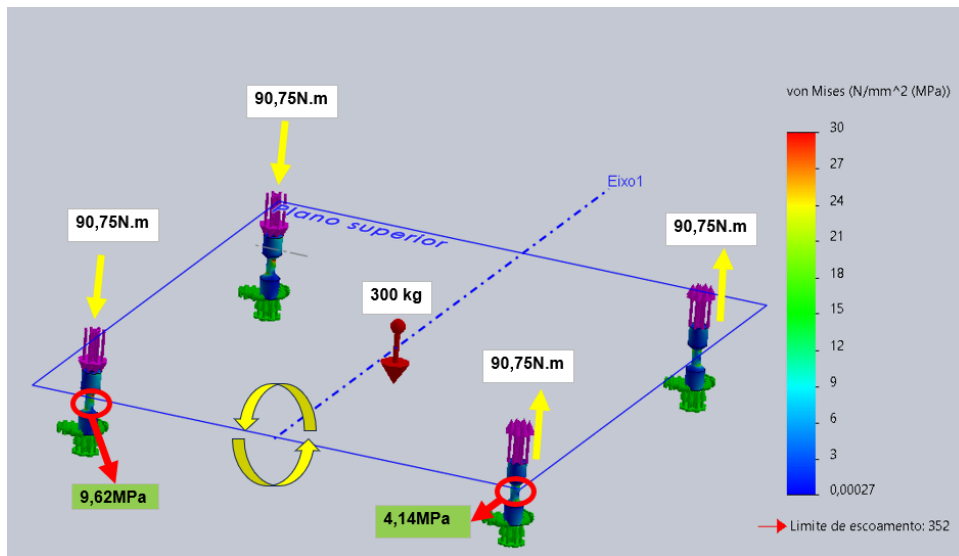
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando a condição de contorno, de torque máximo de acordo com o informado pelo fabricante do motor de 363 N.m divididos igualmente entre as células de carga como



mostra a figura 2, a tensão média obtida nas células posicionadas no lado direito do motor foram de 4,14 MPa e nas células do lado esquerdo 9,62 MPa, ambas sendo esforços de compressão. Essa diferença se dá por conta da massa do motor que também está sendo considerada na simulação. Sendo assim, a tensão média resultante do torque aplicado é de 2,74 MPa, enquanto a tensão causada pela força peso é de 6,88 MPa.

Figura 2: Cargas aplicadas e tensões obtidas na simulação.



Fonte: Autores.

Considerando a utilização de *strain gauges* com resistência nominal de 120 Ω e gauge factor = 2, podemos calcular a variação esperada da resistência elétrica. Para isso, primeiro calculamos o *strain* “ ϵ ” através da equação 5, obtendo o valor de 1,33E-5. O ΔR esperado é calculado a partir da equação 4, sendo igual a 0.00319 Ω .

Considerando um equipamento de aquisição de dados DAC - *Digital to Analog Converter* com resolução de 24 bits ou seja, capaz de identificar variações de resistência com um degrau de 0,0000071 Ω , o sistema teria a capacidade teórica de medir o torque fornecido pelo motor com uma resolução de 0.84 N.m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A precisão do sistema de medição depende de vários fatores como por exemplo a interferências de sinais dos sensores, variações do material e geometria das células de carga entre outros. A utilização de sensores com GF maior, ou a diminuição da seção transversal da



célula de carga, forçando o aumento da tensão, são duas formas possíveis para melhorar a resolução de medida.

A resistência elétrica foi calculada a partir de uma força mecânica, O método de medição de torque proposto demonstrou-se viável a partir da validação por meio de simulações e análise matemática.

Palavras-chave: *Strain gauge*. FEA. Dinamômetro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

R.C. HIBBELER: resistência dos materiais. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 659 p. (1). Tradução de Arlete Simille Marques.

SCARPIN, Lucas Mendes; ROCHA, Renan Paiva; RAMOS, Ricardo Alan Verdú. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM MOTOR OPERANDO COM MISTURAS BIODIESEL-ETANOL.**

RABELO, Laerte MOTOR Ciclo Diesel: princípio de funcionamento, componentes, particularidades e manutenção. Disponível em: <https://blog.simplusbr.com/motor-ciclo-diesel/>.