



Adequação de Motor Elétrico CC Através de CAD e Manufatura Aditiva

Alessandra L. Paiva¹, Vergílio T. S. Del Claro¹, Aldemir A. Cavalini Jr.¹

RESUMO: Motores elétricos possuem vasta aplicabilidade em atividades industriais e equipamentos diversos. Componentes essenciais destes motores são mancais, que garantem suporte mecânico ao sistema e permitem transferência de potência eficiente. A presente pesquisa propõe e efetua a melhoria estrutural de um motor elétrico CC (Tecumseh® modelo 37753) através da remodelagem em CAD de sua carcaça e fiação. O reprojeto visou corrigir defeitos identificados no motor, que inviabilizavam seu uso em pesquisa, tais como: folgas nos mancais, vibração excessiva e aterramento na carcaça. Para tanto, tornou-se necessário a substituição dos mancais e remodelagem da carcaça. Sua fabricação foi feita através de impressão 3D em ABS, e os mancais foram alterados para mancais de rolamento. A nova estrutura se mostrou resistente à fadiga, permitiu superar a velocidade de rotação desejada e provou-se capaz de produzir torque para o experimento com amplitude de ruído desprezível.

PALAVRAS-CHAVE: Máquinas Rotativas; Motores Elétricos; Mancais de Rolamentos; Projeto em CAD; Impressão 3D.

DC Electrical Motor Redesign Through CAD and Additive Manufacture

ABSTRACT: Electrical motors have widespread applicability in industrial activities and diverse equipments. Essential components of these engines are bearings, who provide mechanical support to the system and allow for efficient power transference. The present research proposes and implements the structural improvement of an DC electrical motor (Tecumseh® model 37753) through the CAD remodeling of its carcass and wiring. The redesign aimed to correct defects identified in the motor that made it unusable for research, such as: excessive bearing clearance, excessive vibration and grounded carcass. Therefore, it became necessary to substitute the bearings and redesign the carcass. Its fabrication was performed by 3D printing using ABS, and the bearings were substituted by roller bearings. The new structure proved to be fatigue resistant, allowed the system to surpass the desired critical speed and produced sufficient torque to the experimental setup with negligible background noise.

KEYWORD: Rotating Machines; Electrical Motors; Roller Bearings; CAD Design; 3D Printing.

INTRODUÇÃO

Máquinas rotativas são aplicadas de forma abrangente na indústria e em quase qualquer equipamento, maquinário e veículos em geral (TUCKMANTEL, 2010). Tais máquinas demandam fonte de potência para gerar trabalho mecânico ou, por vezes, o torque é gerado por elas próprias, como é o caso de turbinas e eletrogeradores (SHIGLEY, 2016). Esses dispositivos são compostos e descritos por alguns elementos mecânicos característicos: eixos, mancais e discos (FRISWELL, 2010).

Como elemento mecânico comum em máquinas rotativas, os eixos são utilizados para transmissão de potência entre componentes, podendo ser tubos ou barras maciças, de materiais diversos, geralmente metálicos ou compósitos (CAVALINI et. al., 2017). Discos são representações de engenharia para peças variadas, mas com características semelhantes, como massa concentrada ou torque aplicado, como ocorre por exemplo em compressores, turbinas ou bobinas (LALANNE et. al., 1990). Os mancais por sua vez são suportes para os eixos, que tem por objetivo suportar o peso do sistema e resistir a esforços de operação, gerando o mínimo atrito possível no processo (SHIGLEY, 2016). Existem diversos tipos de mancais, com aplicações dependentes do peso do eixo, velocidade de rotação, direção de cargas, material do eixo, dentre outros.

Dentre os mancais existentes, os mancais de bucha são os mais simples, geralmente usados em aplicações de pequena responsabilidade ou onde o custo deve ser baixo (SHIGLEY, 2016). Mancais de

¹ Graduanda em Engenharia Aeronáutica, LMEst/FEMEC/UFU, Uberlândia, MG

² Doutorando em Engenharia Mecânica, LMEst/FEMEC/UFU, Uberlândia, MG

³ Professor Doutor na FEMEC, LMEst/FEMEC/UFU, Uberlândia, MG

rolamento apresentam menos atrito do que mancais de bucha, podendo ser encontrados nos mais variados tamanhos. Estes também suportam cargas consideráveis e velocidades de rotação variadas, sendo úteis em situações diversas (CAVALINI et. al., 2017). Existem também mancais hidrodinâmicos, usados geralmente em aplicações com carga elevada e grandes dimensões (BARBOSA, 2018). Outros mancais menos comuns, como magnéticos, acústicos, etc., também tem suas aplicações, entretanto estas são restritas.

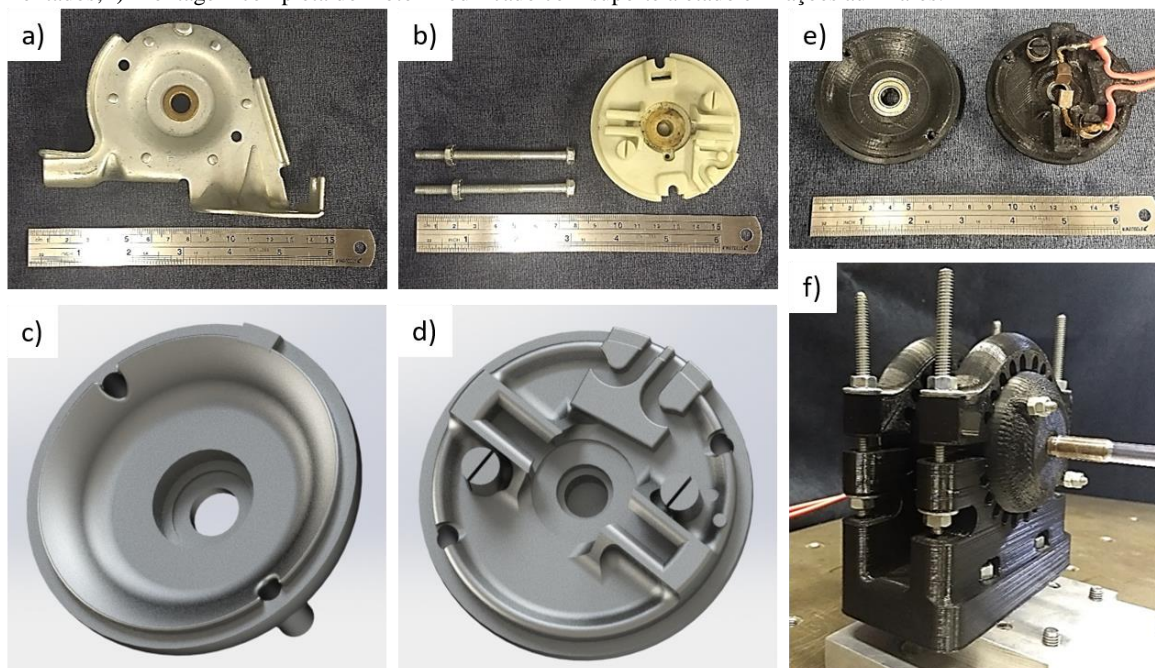
Neste contexto o presente estudo aborda o reprojeto de um motor elétrico para uma aplicação em pesquisa sobre máquinas rotativas. O motor considerado apresenta mancais de bucha de cobre (frontal) e bucha plástica (traseira), com folgas excessivas, introduzindo vibrações consideráveis no sistema, que dificultam a leitura dos sensores (SALDARRIAGA, 2007). Este também apresenta aterramento na carcaça, que pode se tornar um problema para a leitura de sensores capacitivos. Além disto, sua carcaça apresenta geometria complexa, dificultando muito seu alinhamento com a máquina em estudo e acoplando os dois sistemas de maneira incorreta (SANTOS, 2017).

Sendo assim, objetiva-se propor uma solução de engenharia para os problemas do motor supracitado. O requisito principal deste projeto é gerar torque para o experimento de pesquisa introduzindo no sistema o menor ruído possível, preferencialmente desacoplando a dinâmica do motor da dinâmica da máquina rotativa em estudo. Para tanto, os mancais devem garantir alinhamento dos eixos, não apresentarem folga e permitirem rotação de 3000 rpm. Outros requisitos são garantir carga elétrica constante na carcaça e permitir uma montagem mais simples e confiável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se uma análise do projeto do motor existente, visando determinar as modificações necessárias para que este se adequasse à bancada da qual faz parte. Foi identificado que o motor em questão foi produzido originalmente para funcionamento em posição vertical, submetido a cargas axiais, possuindo no mancal frontal uma bucha de cobre de deslizamento (Fig. 1a) e apoio plástico com folga de ~0,5mm no mancal traseiro (Fig. 1b). Este foi originalmente projetado para servir como motor de partida (Tecumseh® modelo 37753), que opera por períodos curtos de tempo, não havendo necessidade de resistência à fadiga ou alinhamento preciso. Esta configuração levou o motor a introduzir ruído no sistema com amplitude maior que o próprio sinal a ser medido, inviabilizando seu uso para pesquisa científica.

Figura 1 – Componentes do motor projetado e partes auxiliares; **a)** Componente frontal original do motor; **b)** Componente traseiro original do motor; **c)** Projeto em CAD da peça frontal do motor; **d)** Projeto em CAD da peça traseira do motor; **e)** Componentes frontal e traseiro projetados com rolamentos, contatos elétricos e fiação devidamente montados; **f)** Montagem completa do motor modificado com suporte aletado e fixações auxiliares.



Para atender à pesquisa, o novo projeto deveria: suportar carga radial leve e carga axial negligenciável; atingir uma velocidade de rotação de 3000 Rpm ou maior; produzir torque transmitindo o

mínimo nível de vibração e ruído possíveis. Para cumprir tais requisitos, decidiu-se por reprojeter as partes frontal e traseira da carcaça, melhorando o traçado da fiação, reforçando as guias dos contatos elétricos e permitindo a instalação de mancais de rolamento.

O desenho do novo projeto foi realizado via CAD no software CATIA V5R20[®], onde pôde-se remodelar os componentes de modo que as dimensões de encaixe com as bobinas, molas de torção, contatos elétricos e corpo da carcaça fossem respeitados. Isto ocorreu concomitantemente com as mudanças dos mancais, reforço das canaletas dos cubos de contato elétrico e com a alteração da lógica de saída dos fios (Fig. 1d e 1e). Devido à complexidade geométrica das peças projetadas, sua fabricação foi viabilizada através de impressão 3D, método de fabricação quase irrestrito em termos geométricos e economicamente viável (MakerBot Replicator™ 2 3D Printer (MP04948)). Utilizando-se como material o plástico ABS, os locais que possuíam propensão a falhar por fadiga foram reforçados estruturalmente (Fig. 1c e 1d). Com intenção de reduzir folgas e vibração proveniente dos mancais, o ajuste dos rolamentos nas camisas plásticas impressas foi realizado com interferência (Fig. 1e).

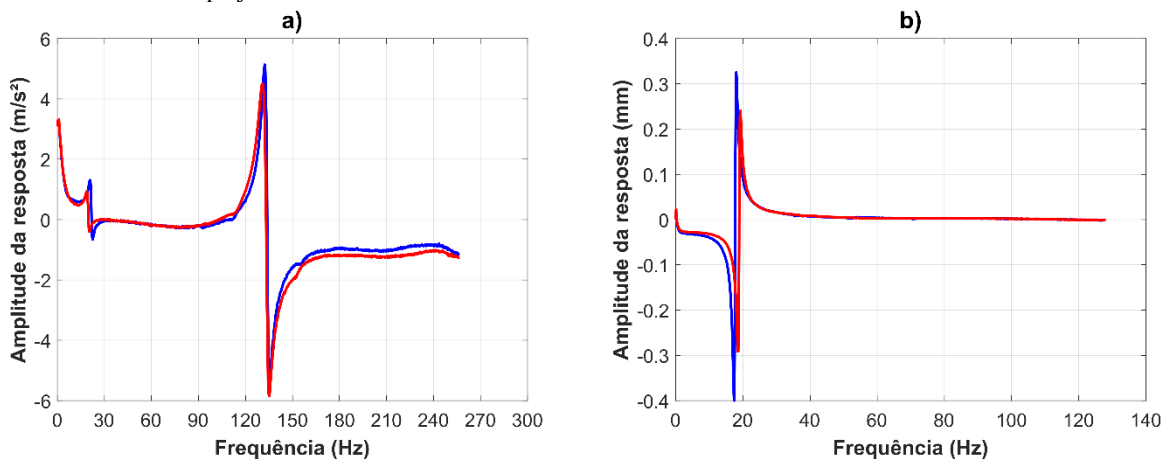
O conjunto foi montado através de duas barras roscadas e porcas auto-travantes, além da utilização de sistema porca-contraporca. Existem dois ressaltos nas bordas das peças projetadas, que se encaixam na carcaça metálica do motor, garantindo concentricidade e angulação adequados entre as peças durante a montagem e operação do sistema. Foi desenvolvido um novo suporte para o motor, também projetado no software CATIA[®] e impresso em ABS, com desenho aletado, evitando eventual superaquecimento (Fig. 1f).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sinais de deslocamento da bancada experimental à qual o motor fornecia potência foram adquiridos por proximetros (Proximetros SKF[®] CMSS65-002-00-12-10 e Drivers SKF[®] CMSS665) e posteriormente tratados por *Fast Fourier Transform* – FFT – gerando respostas em frequência. O quadro comparativo (Fig. 2) evidencia a drástica redução do ruído gerado pelo motor e introduzido no sistema antes e depois do reprojeto do motor.

É possível evidenciar que a amplitude da resposta do sistema na frequência de rotação da máquina (~20 Hz) é consideravelmente menor que o ruído introduzido pelo motor (~130 Hz), antes do reprojeto (Fig. 2a). Após a modificação executada, nota-se eliminação do ruído gerado pelo motor (Fig. 2b). Tal melhoria se deve ao conjunto da mudança dos mancais, redução de folgas e alteração do suporte do motor. Outra melhoria notada foi o aumento da velocidade de rotação máxima, do sistema, que passou de aproximadamente 2000 Rpm para aproximadamente 3500 Rpm, após o remodelamento do motor. Quanto ao quesito de resistência à fadiga para operação por longos períodos, o motor operou por mais de 200 Hs contínuas após sua modificação sem apresentar falhas mecânicas, elétricas, superaquecimento ou qualquer indicação de defeito, sendo este um resultado bastante satisfatório.

Figura 2 – FRFs da bancada experimental alimentada pelo motor em questão; **a)** FRF do sinal de aceleração experimental da bancada utilizando o motor original; **b)** FRF do sinal de deslocamento experimental da bancada utilizando o motor reprojetoado.



CONCLUSÃO

Como proposto, o conjunto atendeu aos requisitos de projeto, reduzindo o nível do ruído produzido pelo motor a um nível aceitável. A velocidade de rotação requerida de 3000 rpm foi alcançada sem obstáculos, e a fabricação se mostra adequada e resistente a fadiga após mais de 200 horas de rotação do motor sem falhas ou necessidade de supervisão. O novo suporte também se mostrou compatível com o esperado, evitando o superaquecimento do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig e ao CNPq pelo financiamento deste projeto. Agradecemos também ao LMEst e à FEMEC – UFU pela infraestrutura e à Comissão Organizadora pelo evento.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. S. Análise de Modelos Termohidrodinâmicos para Mancais de Unidades Geradoras Francis. Uberlândia, MG, 2018.
- CAVALINI JR., A. A., GUIMARÃES, A. M. T., DA SILVA, B. R. M. G., STEFFEN JR., V. Analysis of the dynamic behavior of a rotating composite hollow shaft, Latin American Journal of Solids and Structures, Vol. 14, 2017.
- FRISWELL, M. I.; PENNY, J. E. T.; GARVEY, S. D.; LEES, A. W. Dynamics of Rotating Machines. Unites States, 2010.
- LALANNE, M.; FERRARIS, G. Rotordynamics Prediction in Engineering. Inglarerra, 1990.
- SALDARRIAGA, M. R. V. Atenuação de vibrações em máquinas rotativas flexíveis usando materiais viscoelásticos nos suportes. Uberlândia, MG, 2007.
- SANTOS, R. S. Detecção de falhas em rolamentos de máquinas rotativas utilizando técnicas de processamentos de sinais. Guaratinguetá, SP, 2017.
- SHIGLEY, J.E. Elementos de Máquinas de Shigley. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2016.
- TUCKMANTEL, F. W. S. Integração de Sistemas Rotor-Mancais Hidrodinâmicos-Estrutura de Suporte para Resolução Numérica. Campinas, SP, 2010.