

## ANÁLISE PERFILOMÉTRICA NO MANCAL DO DISPOSITIVO DE ASSISTÊNCIA VENTRICULAR UTILIZANDO A TÉCNICA DE MOIRÉ DE SOMBRA <sup>1</sup>

**Washington Felipe Lucena LUIZ**<sup>2</sup>  
Graduando em Engenharia de Produção  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Isac Kiyoshi FUJITA**<sup>3</sup>  
Mestre em Engenharia Agrícola/Unicamp  
Docente de Engenharia de Produção  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Sergio Yoshinobu ARAKI**<sup>4</sup>  
Mestre em Engenharia Mecânica/UNITAU  
Docente de Engenharia de Produção  
IFSP/Câmpus São Paulo

### RESUMO

O Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV), bomba centrífuga implantável, é utilizado por pacientes que se encontram em estágio crítico de progressão cardíaca (estágio D). Esse dispositivo objetiva a substituição de funções do bombeamento de um coração e, por isso, se mostra notavelmente importante. Todavia, sua estrutura contempla dois mancais sustentados por um eixo roto que desgasta os mancais por atrito devido à sua alta velocidade de giro. Esse desgaste pode não ser benéfico à corrente sanguínea. Em virtude dos fatos, torna-se necessário o estudo do perfil desses mancais. O presente trabalho o faz por meio da Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra. Essa técnica agrega uma grade física e necessita da incidência de luz nela para a formação de uma grade virtual no objeto estático estudado. A partir disso, torna possível estudar o objeto pretendido. Deste modo, os objetivos deste projeto, tendo em vista o estudo analítico de um componente de bomba centrífuga implantável – mancal de polietileno, são, com o auxílio da Técnica Óptica *Moiré* de Sombra: i) analisar o desgaste provocado por um eixo rotor; ii) demonstrar como a técnica em questão é eficiente e capaz de viabilizar tal estudo.

**Palavras-chave:** Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV); Mancais; *Moiré* de Sombra; Desgaste; Grade Física.

---

<sup>1</sup> Trabalho resultante de Iniciação Científica. Orientador Prof. Me. Isac Kiyoshi Fujita e co-orientador Prof. Me. Sergio Yoshinobu Araki.

<sup>2</sup> Endereço eletrônico: washington.lhcf@gmail.com

<sup>3</sup> Endereço eletrônico: ikfujita@gmail.com

<sup>4</sup> Endereço eletrônico: araki.sergio@yahoo.com.br

## Introdução

Existem dois subtipos de Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV): (i) o pulsátil; (ii) as bombas centrífugas implantáveis. O primeiro utiliza um diafragma que bombeia sangue para a aorta através do avanço para um meio mecânico ou pneumático; o segundo faz o bombeamento contínuo de sangue através de um rotor, utiliza até três tipos de mancais (cerâmico, poliuretano e levitação magnética), mas, por ser mais simples, necessita de controle mais dinâmico de fluxo.

Ao analisar o DAV do subtipo “bomba centrífuga implantável”, nota-se, em comparação ao subtipo bomba pulsátil, os mancais como componentes estruturais. O mancal, contudo, sofre, a partir das vibrações causadas no mesmo pelo rotor presente no dispositivo, uma deformação ao longo do uso da bomba. Essa deformação, podendo ser entendida como um desgaste, cria risco à saúde dos pacientes, contaminando seu sangue com partículas que se desprendem do material e, que têm como destino, a corrente sanguínea. Deste modo, torna-se pertinente o estudo relacionado ao desgaste desse mancal e, para isso, será utilizada a Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra.

Essa técnica se baseia em ensaios não destrutivos e detecta falhas de maneira individual, utilizando técnicas ópticas como Fotoelasticidade e Fotomecânica.

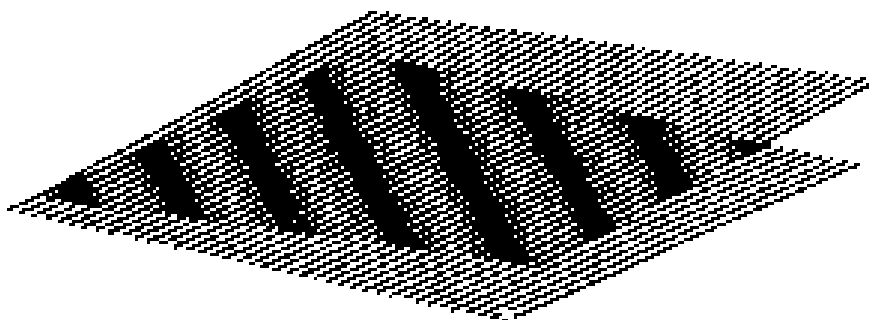
A Fotoelasticidade estuda as deformações e tensões em um material, baseando-se em uma película fotoelástica que é aplicada ao material analisado e na luz que se projeta no objeto para a formação das franjas fotoelásticas (FUJITA, 2015, p. 13). A técnica óptica Fotomecânica se aplica à formação de mapas de deslocamento do material em análise, fornecendo, desse modo, mapas de deformação e de tensão. Esse tipo de técnica fotomecânica subdivide-se em três técnicas referências: *Speckle* interferométrico, Holografia interferométrica e Técnica de *Moiré* (FUJITA, 2015, p. 13 - 14).

A Técnica Óptica de *Moiré* fundamenta-se em sobrepor dois retículos gerando, pois, um ângulo entre as direções das linhas. Esses retículos são gerados por linhas que possuem o mesmo tamanho e são mostradas por formas claras e escuras. Eles, ao formarem padrões, idealizam as franjas de *Moiré* com o deslocamento relativo entre si. Estas são visualizadas através de linhas escuras e sua posição gera o mapa de

distribuição de tensões que reproduz a topografia do objeto estudado. A topografia do objeto é muito importante porque, através dela, é possível observar e interpretar formatos de objetos, contornos topográficos, deformações dentro e fora do plano e informações de curvatura tendo em vista sua forma tridimensional. É válido ressaltar: apesar de essa técnica ser subdividida em duas – Projeção e Sombra –, este trabalho focar-se-á na técnica de Sombra.

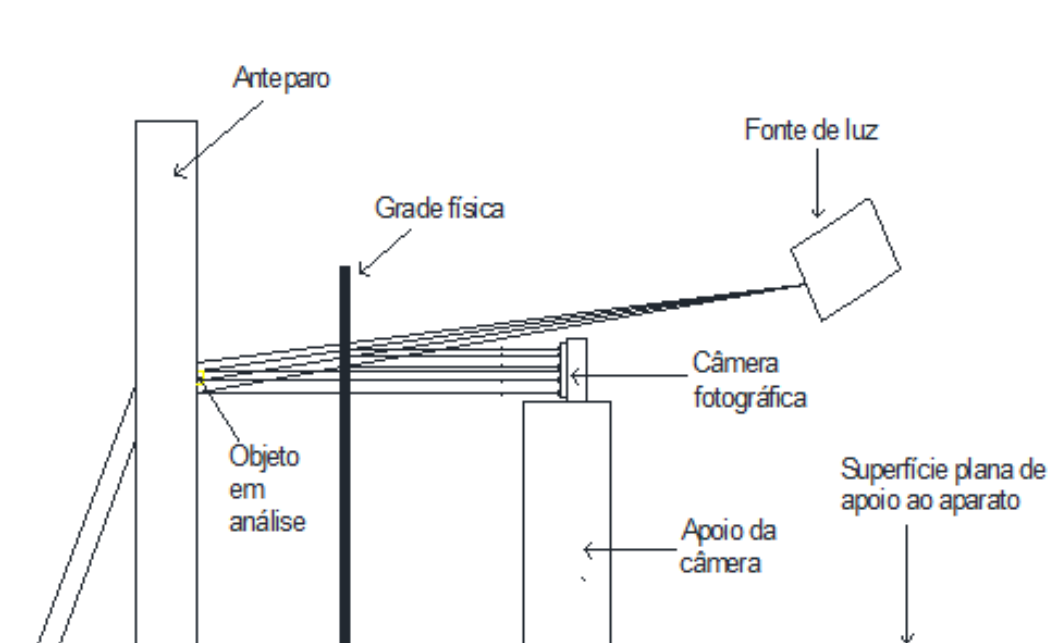
A Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra se aplica em apenas um retículo, visto que tem a passagem de luz na grade real onde é projetada sua sombra (grade virtual) no objeto estático. Na análise das franjas são determinados os deslocamentos dos eixos no plano e o tipo de inclinação do objeto referencial. Para aplicação da técnica, são necessários os seguintes equipamentos: grades de *Moiré* (digitais ou físicas), câmera fotográfica e um projetor multimídia (GAZZOLA; AFFONSO; FABBRO, 2013, p. 213).

**Figura 1** – Franjas de moiré produzidas pela sobreposição de duas grades



Fonte: LINO, 2002, p. 58

Figura 2 – Aparato da Técnica Óptica de Moiré de Sombra feito no software AutoCAD



Fonte: Autores

### Materiais utilizados

Os materiais utilizados para a realização deste projeto foram: anteparo; grade física (grade de Ronchi); câmera fotográfica de um *smartphone*; computador com *softwares* específicos para o tratamento das imagens; Mancal de Polietileno de Ultra-alta Massa Molar (PEUAMM); uma morsa; um projetor multimídia.

### Metodologia

Inicialmente, é necessário realizar a montagem de todo o aparato experimental para a realização do ensaio que aplica a Técnica de *Moiré* de Sombra. Após a montagem correta, que implica na fixação do mancal no anteparo, no posicionamento da câmera fotográfica e na angulação do projetor multimídia, a grade física com linhas claras e escuras deve ser posicionada de frente ao mancal de polietileno. Com isso, verifica-se a formação de franjas paralelas geralmente a 90 graus no objeto estudado. Após a formação das franjas na superfície do objeto fixado no anteparo, realiza-se a captura de uma foto chamada “foto padrão”. Após a primeira foto, há a necessidade de fazer três

novas capturas, do mesmo ângulo, porém sem a presença do objeto e distanciando gradualmente a grade. Essas três capturas chamam-se “imagens-parâmetros”.

A seguir, serão apresentados o objeto de estudo e o modo de análise de sua perfilometria de acordo com a Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra.

### **Objeto de estudo:**

**Figura 3** – Mancais de Polietileno de Ultra-alta Massa Molar (PEUAMM)



Fonte: Autores

### **Análise Perfilométrica do mancal de Polietileno de Ultra-alta Massa Molar (PEUAMM)**

De acordo com a metodologia, após a montagem completa do aparato experimental, é iniciado o experimento em cinco etapas, cujo objetivo é o estudo da perfilometria do mancal.

Etapa 1 – Posicionamento do aparato.

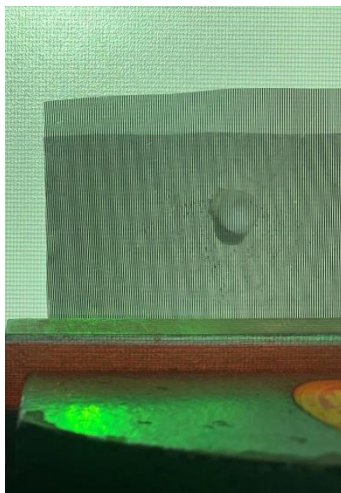
**Figura 4** – Aparato do projeto



Fonte: Autores

Etapa 2 – Captura da imagem com o objeto de estudo

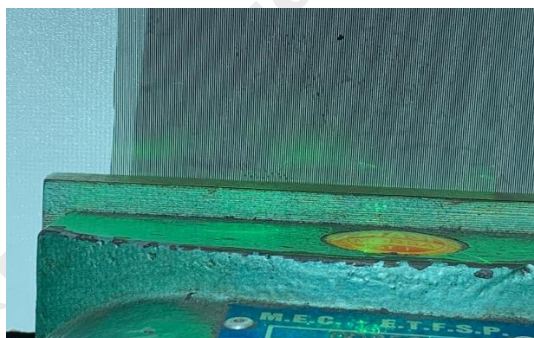
**Figura 5** – Formação de franjas no mancal



Fonte: Autores

Etapa 3 – Captura da foto sem o objeto de estudo

**Figura 6** – Formação de franjas sem o mancal



Fonte: Autores

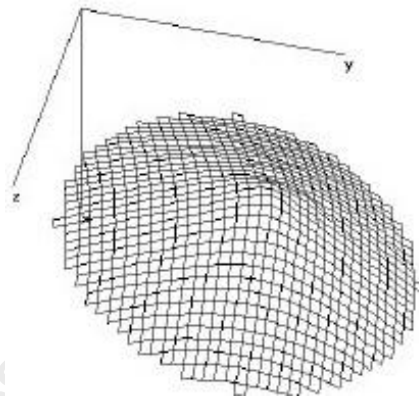
Nas últimas etapas – quarta e quinta –, para o tratamento e futura análise do modelo digital topográfico que será gerado a partir dessas fotografias, foram realizados os mesmos processos da terceira etapa porém com uma mínima variação da grade física em relação ao aparato de meia volta através da morsa.

Após a realização das cinco etapas, as imagens são tratadas em dois *softwares* específicos, o *Idea* e o *Image J*. É válido ressaltar que, entre as três últimas etapas, as mudanças são quase imperceptíveis devido à mínima variação na morsa de meia volta. Essa mínima variação, no entanto, é necessária para uma melhor análise do escopo final do projeto via *software* (MAGALHÃES JÚNIOR, 2009, p. 183).

## Resultados

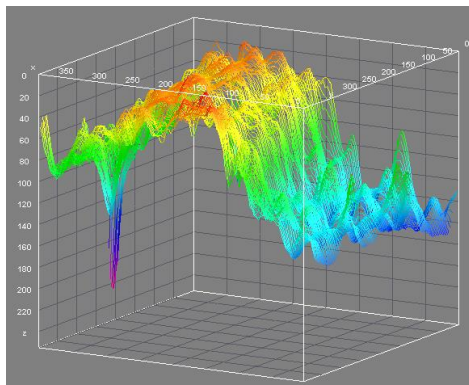
Os resultados desse projeto se fundamentam na análise, em conformidade com a aplicação da Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra, dos perfis dos mancais cerâmicos e na determinação dos seus desgastes causados por atrito com o eixo rotor. Para a execução da análise, foi necessário construir uma grade física (componente elementar da técnica em questão) e, posteriormente à aplicação de todas as etapas da metodologia, foi realizado tratamento específico das imagens relacionadas através dos *softwares Image J e Idea*. Como demonstra a comparação entre os modelos digitais topográficos, por meio dos processos descritos a diferença no delineamento superficial entre um mancal ideal e um real ficou perceptível.

**Figura 7** – Relevo do cone produzido no Software Rising Sun representando um mancal ideal



Fonte: Zywang, 2001

**Figura 8** – Relevo de um mancal utilizado em teste



Fonte: Autores

É de suma importância ressaltar que, apesar da nítida percepção de diferença entre os dois modelos cônicos topográficos, essa microestrutura pode ser aplicada dentro de um DAV, tendo em vista sua aprovação através de testes de hemólise que visam analisar o dano causado na corrente sanguínea a partir do desgaste dos mancais. O professor doutor Eduardo Guy Perpetuo Bock (docente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus São Paulo) realizou testes de hemólise e chegou a satisfatório índice de hemólise, conforme as Normas ASTM F1830 e ASTM F1841, de 0,0054 mg/100L, valor que enquadra o desprendimento de suas partículas com destino à corrente sanguínea como aceitável conforme a variação do Índice Aceitável de Hemólise (NIH) que deve se manter entre 0,004g/100L e 0,02g/100L (BOCK, 2007, p. 74).

Entretanto, o maior impacto negativo em relação ao resultado final do trabalho foi o controle da iluminação ambiente durante a realização dos ensaios, visto que essa técnica óptica necessita, demasiadamente, de um preciso controle da iluminação para a obtenção de um melhor resultado.

### **Conclusão**

Apesar do limitado conhecimento da Técnica Óptica de *Moiré* de Sombra, atualmente verifica-se uma disseminação mais acentuada da própria por seu baixo custo de aplicação, sua facilidade de execução e garantia de uma elevada eficácia no resultado final, podendo ser aplicada em qualquer corpo de prova, cujo objetivo seja a análise de tensões, desgastes, entre outras variáveis. Através da presente técnica óptica aplicada, o objetivo esperado foi atingido: a determinação do desgaste do mancal do Dispositivo de Assistência Ventricular, por meio da comparação do modelo digital topográfico da Figura 7, que representa um mancal ideal, comparado com o modelo topográfico da Figura 8, que representa um mancal real.

É válido ressaltar que, através dessa técnica óptica, não foi possível encontrar um valor experimental, ou seja, a análise se limitou a modelos gráficos. A solução encontrada para a obtenção de um valor experimental para este ensaio foi usar como base fundamental o teste de hemólise realizado pelo professor doutor Eduardo Guy Perpetuo Bock. O mencionado teste experimental de hemólise utilizado para quantificar



os danos causados ao sangue de acordo com as Normas ASTM F1830 e ASTM F1841, encontrou um Índice Aceitável de Hemólise (NIH) de 0,0054 mg/100L. O índice permite, portanto, a aplicação dos mancais de Polietileno de Ultra-alta Massa Molar (PEUAMM) nos Dispositivos de Assistência Ventricular (DAV), contribuindo, expressivamente, para a área da medicina se expandindo desde o setor cardiológico até outros setores, como ortopédico, neurológico e afins.

## Referências

FUJITA, Isac Kiyoshi. **Aplicação de técnica de Moiré de sombra na medição de tensões em elementos estruturais submetidos a ensaio de tração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

GAZZOLA, Jonathan; AFFONSO, Eudir Alves; FABBRO, Inácio Maria Dal. Aplicação da técnica óptica de Moiré de sombra na determinação do mapa de deformações de corpos carregados axialmente. **Sinergia**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 211-216, 2013.

LINO, Antonio Carlos Loureiro. **Técnica óptica de Moiré visando à aplicação no estudo de superfícies irregulares**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MAGALHÃES JÚNIOR, Pedro Américo Almeida. **Análise da técnica Moiré de sombra com deslocamento de fase usando generalização do algoritmo de Carré**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

### **PERFILOMETRIC ANALYSIS ON THE BEARING OF THE VENTRICULAR ASSISTANCE DEVICE USING THE SHADOW MOIRÉ TECHNIQUE**

#### **ABSTRACT**

*The Ventricular Assist Device (VAD) is an implantable centrifugal pump and it is used in patients that are in a critical state of progression of cardiac disease (stage D). The device aims at substituting the pumping functions of a heart, thus being extremely important for critically heart-impaired patients. The structure is composed of two supports sustained by a rotor shaft that causes wear on the supports caused by its high spin speed, and the wear may not be beneficial to the blood circulation. On these grounds it is crucial the profile study of these supports, that is done using the Moiré Technique. This technique overlaps a physical grid and demands light incidence to create a virtual grid on the static object, thus enabling the study of the desired object. Therefore, the objective of this project, considering the analytical study of a*

*piece of the implantable centrifugal pump (polyethylene support), are studying its wear caused by the rotor shaft, based on the Optic Moiré Technique, and demonstrating that the technique is efficient and able to give viability for the desired study.*

**Keywords:** Ventricular Assist Device; Supports; Moiré Technique; Wear; Physical Grid.

**Envio: novembro/2019**

**Aceito para publicação: dezembro/2019**

REGRASP (ISSN 2526-1045), v. 5, n. 1, mar. 2020