

ESTUDO E TESTES PRELIMINARES PARA UM MÉTODO ÓPTICO DE CONTROLE DE PRÓTESES VALVULARES

Rene Nogueira Ting

roadpoli-mecanica@yahoo.com.br

Resumo: *No presente trabalho propõe-se o estudo de um método diferenciado para facilitar a visualização de problemas nos pericárdios bovinos, sendo que a análise desse material tem por fim a produção de válvulas artificiais cardíacas a serem utilizadas em seres humanos. Para tanto, um método óptico com análise digital de imagens foi usado buscando uma maior definição e precisão dos resultados. A primeira parte do trabalho consistiu na elaboração de um protótipo com finalidade de conseguir resultados, enquanto que na segunda houve a busca por uma solução e para tanto tentou-se obter imagens através de laser e de microscópio. A imagem foi processada digitalmente utilizando o método da transformada de Fourier, procurando assim conseguir o ângulo de direção das fibras. Este trabalho possui caráter exploratório e a idéia do dispositivo pode servir como base para muitas pesquisas e avanços tanto na área de próteses cardíacas como em outras relacionadas à análise de imagens.*

Palavras chave: *válvula artificial cardíaca, pericárdio bovino, transformada de Fourier..*

1. Introdução

Para muitas doenças envolvendo as válvulas cardíacas, quando não há possibilidade de recuperação, a alternativa que resta é a sua substituição por uma válvula artificial. Os dois tipos mais utilizados são as válvulas mecânicas e as biológicas. A principal diferença entre as duas reside no fato de a segunda ser composta por um material biológico (em grande parte constituído por tecido bovino ou suíno) enquanto que a primeira é feita de outros materiais, como aço inoxidável ou compósitos de carbono. O principal problema na utilização das válvulas mecânicas é sua alta taxa de rejeição. Devido ao tipo de material utilizado, o organismo tende a formar coágulos nas superfícies da válvula, exigindo assim que o paciente tome anticoagulantes. Em contrapartida a dosagem em demasia deste medicamento pode provocar hemorragias.

Um dos tecidos mais utilizados para a fabricação da válvula artificial biológica é o pericárdio bovino, que consiste em uma membrana que recobre o coração do boi. Apesar deste material possuir uma menor taxa de rejeição comparado aos materiais não-biológicos, tende a degenerar num período próximo de 5 anos a partir de sua colocação, fazendo com que haja sucessivas intervenções cirúrgicas. O pericárdio bovino é um material amplamente utilizado na medicina brasileira para substituição de válvulas cardíacas com mau funcionamento. Isso acontece em grande parte devido à dificuldade que se tem de verificar a qualidade do material antes de sua colocação. Dado que o pericárdio tem uma degeneração maior, qualquer defeito ou não homogeneidade nos retalhos utilizados pode causar uma falha da válvula em pouco tempo.

Portanto, o problema a ser abordado é definido na falta de um método não destrutivo para o controle de qualidade do pericárdio bovino assim como a falta de um dispositivo que faça isto de maneira automatizada e com maior confiabilidade para o uso cirúrgico na manufatura de válvulas artificiais cardíacas. Este trabalho consiste no desenvolvimento de um método não destrutivo para a análise da qualidade do pericárdio bovino, incluindo a fabricação de um dispositivo para realizar tal tarefa de maneira automatizada e mais confiável.

1.1. Funcionamento Cardíaco

O coração é um dos principais órgãos do corpo que tem por principal função o bombeamento sanguíneo, pois ele envia sangue oxigenado dos pulmões para o resto do corpo e também o sangue que retorna dos tecidos para o pulmão. É constituído em grande parte de músculo anatomicamente estriado e fisiologicamente liso e possui dois sistemas de bombeamento independentes, um do lado direito e o outro do lado esquerdo. Cada um dos sistemas possui duas câmaras, sendo um átrio (ou aurícula) e um ventrículo. Além disso, o coração também tem quatro válvulas, localizadas nas saídas de cada câmara.

O mau funcionamento de qualquer uma das válvulas do coração pode fazer com que haja um refluxo do sangue ou dificuldade de passagem no sentido correto, dependendo da lesão ou doença presente. Em casos onde não é possível um tratamento clínico através de medicamentos, a alternativa que resta a substituição da válvula por uma artificial.

1.2. Válvulas Artificiais

Existem três tipos principais de válvulas artificiais cardíacas: as mecânicas, as biológicas e aquelas oriundas de um doador. As válvulas artificiais mecânicas podem ser feitas de materiais sintéticos ou metálicos, sendo atualmente utilizadas em grande maioria aquelas compostas de carbono pirolítico. As próteses podem ter diferentes tipos de funcionamento e dentre as mais usuais estão: bola e gaiola, disco basculante (Fig. 1) e disco com duas cúspides. O modelo mecânico possui uma maior facilidade de fabricação quando comparado ao biológico, mas apesar disto o custo costuma ser muito mais alto, dependendo dos materiais que são utilizados. E para ter a mesma taxa de rejeição o paciente que utiliza as válvulas mecânicas precisa freqüentemente tomar medicamentos anticoagulantes.

Já no caso das válvulas artificiais biológicas, um dos materiais mais utilizados nesta técnica é o pericárdio bovino, onde o modelo tenta reproduzir o funcionamento da válvula a ser substituída (Fig. 2). O custo e a taxa de rejeição costumam ser bem menores comparadas às mecânicas e por este motivo largamente utilizadas no Brasil (em torno de 80% do total das próteses valvulares). O maior problema é devido à duração desta válvula, pois tem um processo de degeneração mais acentuado e, dependendo do tratamento a que foi submetido anteriormente o material, pode também sofrer calcificações.



Figura 1: Válvula mecânica de disco basculante.
(Braille Biomédica, 2008)



Figura 2: Válvula biológica de pericárdio bovino.
(Braille Biomédica, 2008)

1.3. O Pericárdio Bovino

Dentre os materiais utilizados para construção das válvulas artificiais cardíacas, um dos mais frequentes é o pericárdio bovino, que é um tecido fibroso rico em fibras colágenas que envolve o coração. No Brasil, o pericárdio é obtido em frigoríficos, imediatamente após o abate dos animais com idade de 30 a 60 meses. Procura-se retirar um tecido rico em colágeno e livre de gorduras. O material então é transportado para o laboratório em uma solução de limpeza a 4°C por no máximo 4 horas.

No laboratório, o pericárdio é novamente lavado em solução de limpeza e montado em um suporte para ser submetido a curtimento em uma solução de glutaraldeído a 0,5%. Todo este procedimento visa curtir o tecido, mas mantendo o alinhamento ou paralelismo dos feixes de colágeno e sem sofrer estiramento ou alteração de sua ondulação natural, para assim obter a elasticidade necessária para o bom funcionamento da válvula. Depois de curtido, o material é submetido a um tratamento em solução oxidante que retira substâncias antigênicas, impurezas, restos celulares, além de aumentar a resistência do tecido. Por fim, é colocado em uma solução conservadora de formaldeído a 4%. Depois dessa fase são submetidos a um controle de qualidade onde se descartam aqueles que não se encaixam dentro dos critérios desejados.(Braille, 1990)

Os processos de controle de qualidade envolvem análise microscópica, testes de tensão superficial crítica, controle bacteriológico, teste de encolhimento, teste de resistência mecânica e durabilidade acelerada. Todos os métodos para controle da qualidade no aspecto mecânico são destrutivos e para tanto são realizados em pedaços adjacentes àqueles que virão a constituir a válvula. Após todos os procedimentos, desde a coleta até a liberação para confecção das válvulas o índice de material rejeitado atinge cerca de 90% (Braille, 1990).

1.4. Obtenção de Imagens de Pericárdios

Quando se aborda análise de tecidos biológicos há de se considerar a utilização de instrumentos e métodos ópticos para conseguir realizá-la. Mas ao observar o material com um microscópio de fluorescência percebe-se que a visualização é bastante complexa devido às fibras de elastina e colágeno se encontrarem bastante entrelaçadas. Para resolver esta dificuldade, técnicas que se baseiam na análise de imagens de padrões de interferência estão sendo utilizadas buscando encontrar propriedades geométricas significativas em tecidos biológicos. O objetivo seria estimar a inclinação média local das fibras. Esta estimativa poderia ser realizada tanto passando um feixe de laser através do pericárdio para obter as figuras de interferência, quanto analisando a textura de speckle através de imagens de ultra-som (Lai et al, 2007).

O tipo de laser mais adequado até o momento é o de HeNe, pois possui um comprimento de onda de aproximadamente $\lambda = 632,8\text{nm}$. Esta medida é importante pois corresponde à magnitude do diâmetro das fibras de colágeno e elastina, para assim ser possível verificar uma indicação da direção das fibras pela difração do laser. (Sacks et al, 1997)

1.5. Processamento Digital de Imagens

A Transformada de Fourier no espaço opera com processos físicos que se repetem em alguma das três dimensões. Estes podem ser descritos no domínio do espaço como uma quantidade h em função de x . Ou então no domínio das frequências onde o processo é dado por uma amplitude H em função de uma frequência f . Assim, a transformada de Fourier no espaço contínuo é dada por:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) \cdot e^{2\pi i f x} dx \quad (1)$$

$$h(x) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \cdot e^{-2\pi i f x} df \quad (2)$$

Determina-se também o conceito de energia total em um sinal como sendo a energia computada no domínio do espaço ou no domínio da frequência. O resultado é conhecido como teorema de Parseval que é dado por:

$$\text{Energia Total} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |h(x)|^2 dx = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 df \quad (3)$$

A grande maioria das aplicações da transformada ocorre para em ambientes computacionais, e assim, para cálculos numéricos é preciso trabalhar com variáveis discretas. Desse modo, pode-se alterar as equações (1) e (2) utilizando somatórias. Chama-se transformada de Fourier discreta de N pontos h_k :

$$H_n = \sum_{k=0}^{N-1} h_k \cdot e^{2\pi i k n / N} \quad (4)$$

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n \cdot e^{-2\pi i k n / N} \quad (5)$$

Para melhorar o número de contas e conseqüentemente a velocidade de cálculo, a transformada de Fourier pode ser calculada utilizando algoritmos otimizados chamados de Fast Fourier Transform (FFT). Enquanto que no cálculo simples tem-se $O(N^2)$ processos, a FFT apresenta $O(N \log 2N)$. Isso possibilitou a utilização da transformada no cálculo de grandes matrizes.

2. Materiais e Métodos

2.1. Testes em um Protótipo Simples

2.1.1. Estudo de Viabilidade Física

Durante o primeiro momento de estudo tentou-se construir um dispositivo simples que conseguisse verificar os tipos de falhas mais básicos que podem ocorrer no tecido. Inicialmente procurou-se um resultado mais qualitativo. Existem inúmeros aspectos que podem ser analisados em um tecido biológico como o pericárdio. E muitos deles são fundamentais para definir o tempo de vida da válvula, como a presença de furos ou rasgos, espessura, uniformidade, direção das fibras, presença de camadas de gorduras, etc. Como uma parte significativa dos testes é realizada no julgamento visual de um especialista, há uma grande chance de se obter sucesso realizando o mesmo teste sob a visão de um computador. A partir da análise de imagens é possível conseguir observar vários dos aspectos importantes simultaneamente e a tentativa é de conseguir analisar o maior número de parâmetros possíveis.

Como o presente trabalho visa primeiramente testar a viabilidade do método, este será realizado com uma câmera fotográfica digital de uso comum e amador. Para se obter uma imagem mais fiel e constante, será utilizada uma fonte de luz uniforme atravessando o tecido. A uniformidade é importante para o resultado, pois isso ajudará a contrastar as irregularidades que se desejam observar. Resultados de diferentes frequências de luz (cores) também foram comparados, pois o material deve absorver mais determinadas faixas do que outras, obtendo diferentes resultados.

2.1.2. A Construção do Protótipo

Inicialmente foi construída uma pequena matriz de LEDs na tentativa de se obter uma luz mais uniforme. O intuito era conhecer as melhores faixas de frequência para identificar os defeitos. Em seguida percebeu-se que a luz estava muito concentrada em um ponto focal e, por conta disso, foi utilizado um dispositivo com lente para difundir a luz. Há uma grande chance dessa lente não ser necessária em um dispositivo final, quando a matriz for muito maior. Feito isso, o passo seguinte foi testar a incidência da luz no vidro jateado. Testando as diferentes cores, percebeu-se que mesmo com o difusor, a luz na fotografia aparecia muito concentrada no centro da foto. Por isso, a idéia foi utilizar dois jateados.

Posteriormente, a tarefa foi encontrar as melhores distâncias para obter a melhor relação entre uniformidade e intensidade da luz. Terminando esta fase, foi elaborado um dispositivo fixo para que pudessem ser realizados os testes. Inicialmente, os testes foram realizados em um pedaço de folha vegetal simulando o que ocorreria com o tecido.

2.1.3. Detalhamento da Solução

Tendo definido alguns parâmetros iniciais, foi construído um protótipo para o teste de viabilidade nas dimensões de acordo com aquelas medidas na fase de estudo. Foi feito um esboço do projeto (Fig. 6) onde estão presentes todas as dimensões mais importantes do dispositivo.

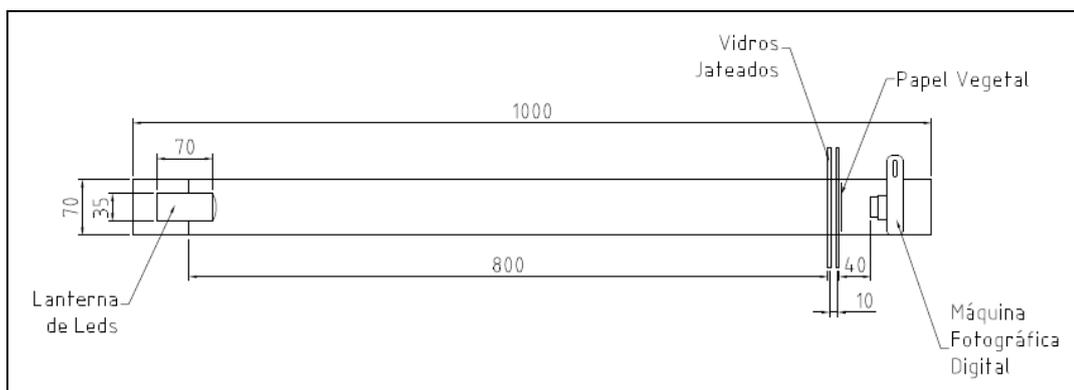


Figura 6: Esboço com as dimensões do projeto do protótipo.

Os materiais utilizados na fabricação foram:

- 1 pedaço de madeira de 10x70x1000mm
- 2 vidros jateados de medidas 4x100x150mm
- Câmera digital 7.2 Megapixels, Casio Exilim EX-Z75 CCD
- 1 pedaço de papel vegetal de medida 80x80mm
- 1 matriz de 12 LEDs
- 3 LEDs brancos de alta intensidade 3,6V
- 3 LEDs azuis de alta intensidade 3,6V
- 3 LEDs verdes de alta intensidade 3,6V
- 3 LEDs vermelhos de alta intensidade 3,6V
- 1 lente difusora
- 4 botões de liga/desliga
- 2 baterias 1,5V tamanho AA

2.1.4. Método de Ensaio

Para realizar a simulação foram feitas uma dobra e um furo no papel vegetal com o intuito de verificar qual frequência discriminaria melhor os defeitos. Em um teste real, os resultados serão outros, mas o objetivo por enquanto é apenas verificar a viabilidade do protótipo. Testes em laboratório serão realizados para resultados mais concretos e confiáveis.

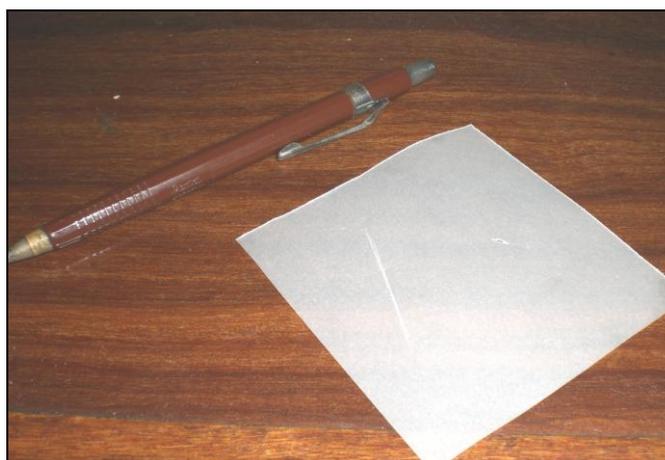


Figura 7: Pedaço de papel vegetal com uma dobra no lado esquerdo e um furo no lado direito.

O dispositivo foi construído conforme o projeto com o intuito de estabilizar o conjunto e assim garantir condições iguais às cores. O papel vegetal foi posicionado entre o último vidro e a câmera fotográfica, conforme a Figura 6. A máquina fotográfica CCD foi fixada e as fotos foram tiradas das diferentes cores com as seguintes configurações:

- Modo Monocromático.
- Foco Macro
- ISO 400

- Abertura 3,1mm
- Tempo de exposição de 0,2 segundos
- Temporizador de 2 segundos

As fotos foram tiradas no modo monocromático para facilitar a análise pelo computador. O temporizador foi utilizado para garantir a estabilidade da máquina enquanto estavam sendo tiradas as fotos, pois o aperto do botão da máquina poderia interferir. Assim como se procurou manter o local escuro para não haver interferência de outras luzes.

2.2. Testes em Laboratório

Com a finalidade de obter resultados mais precisos e confiáveis, foram realizados testes em laboratório de óptica visando caracterizar cada componente a ser utilizado no experimento. Tudo feito em condições controladas para que os resultados fossem os mais precisos possíveis.

2.2.1. Obtenção de Imagens com Laser

O teste com o laser foi realizado no laboratório de óptica do Instituto de Física da USP. Devido à indisponibilidade de alguns equipamentos, foi utilizado um laser de baixa potência infravermelho, e não um de HeNe como era esperado. Todo o conjunto foi montado em cima de uma mesa óptica de granito devidamente amortecida. O feixe de laser foi apontado para um filtro de luz e em seguida atravessava o pericárdio repousado sobre uma placa de vidro transparente sendo finalmente detectado pela câmera CCD de alta sensibilidade.

O sinal da câmera era enviado para uma placa de aquisição de imagens que estava acoplada a um computador e simultaneamente a um monitor. As imagens eram acompanhadas em tempo real e gravadas digitalmente. A Fig. 8 esquematiza a disposição, mas devido à falta de resultados válidos nesta experiência, não foi tomada nenhuma imagem.

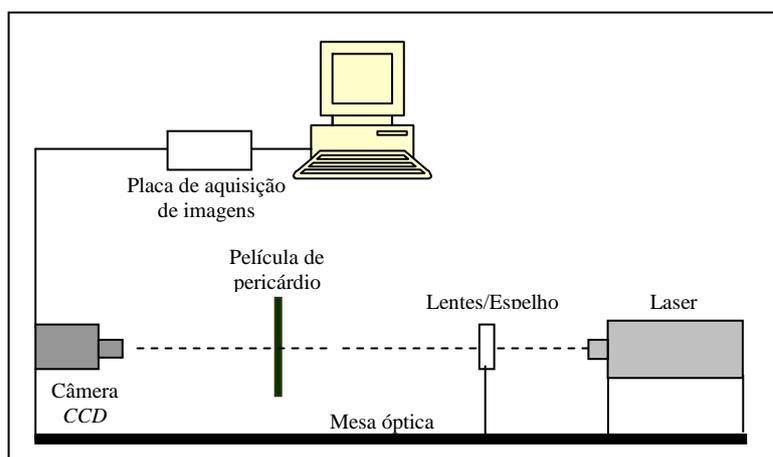


Figura 8: Esboço do arranjo experimental do teste a laser.

2.2.2. Obtenção de Imagens com Microscópio

O princípio de tentar ponderar a direção das fibras através da superfície pode ser validado pela hipótese de que isso ocorra com o pericárdio assim como ocorre com muitos outros materiais biológicos. É possível verificar a direção dos veios de uma tábua de madeira apenas observando externamente, assim como ocorre com as fibras musculares. Com base nessa hipótese, encontra-se justificativa para que as imagens da superfície do material possam ser utilizadas.

A aquisição dessas imagens por meio de microscópio foi realizada no Laboratório de Fenômenos de Superfície da Escola Politécnica da USP. Para este trabalho foi utilizado um estereoscópio da marca Nikon, com 2 fontes de luz ortogonais entre si incidindo inclinadamente com as seguintes especificações:

Estereoscópio Nikon SMZ800:

Objetiva: 10x

Projetiva: 6,3x

Ângulo de incidência da luz: de 20° a 30°

Câmera CCD Nikon DXM1200F:

Resolução: 3840x3072 pixels

CCD de 2/3in de alta densidade com 1,45 milhões de pixels efetivos.

Software de Aquisição de Imagens ACT-1 V. 2.63:

Formato de Gravação: .jpg

O processo consistia em diferentes tomadas de disposição do material com diferentes posições de incidência de luz (mas sempre mantendo a mesma angulação). Foram analisadas duas amostras de material: uma proveniente da Divisão de Bioengenharia do Incor e outra do Instituto St. Jude Medical. Ambos os materiais eram semelhantes àqueles utilizados em ensaios padrão ou na própria matéria prima das válvulas. A espessura no material variava de 0,5 a 1mm.

Foram tomadas 3 imagens da amostra do Incor, sendo que duas delas do mesmo local alterando apenas a posição da iluminação. Posteriormente foram tomadas 3 fotos da amostra do St. Jude, sendo que uma delas foi feita mudando a superfície exposta (virando o tecido).

Como as luzes estavam fixas (duas fontes inclinadas e ortogonais entre si) foi rotacionado o pedaço do pericárdio até conseguir obter uma imagem com bons contrastes. Pelo fato da luz estar fixa, os ângulos encontrados nas fibras dos materiais ficaram próximos.

2.2.3. Processamento da Imagem

A fim de analisar as imagens digitalmente utilizou-se o programa de código aberto GNU-Octave V. 3.0.1. Para realizar a análise foi utilizado o método Fast Fourier Transform (FFT), este anteriormente descrito na Revisão da Literatura.

Num primeiro momento, a imagem do microscópio foi processada manualmente para tons de cinza e reduziu-se a resolução para 512x512 pixels. Em seguida, a imagem foi salva em formato PNM, o que fez com que cada pixel ficasse arquivado como um número escalar entre 0 e 255 representando a escala de cinza, e todos armazenados num vetor linear de 262 mil elementos.

A partir do software Octave, o vetor foi distribuído em uma matriz quadrada. Assim, de uma linha ou coluna da matriz realizou-se a transformada de Fourier e do resultado calculou-se o módulo de cada elemento complexo e com isso foi possível verificar as localidades da função onde ocorriam os maiores picos.

As 5 primeiras raiais de todas as transformadas foram descartadas por acumularem erros do processo. O local onde ocorre o pico da função corresponde ao comprimento da onda do sinal das escalas de cinza, ou seja, o comprimento da fibra (ou rugosidade) naquela direção. E com duas direções ortogonais e a aplicação de uma geometria simples é possível calcular o ângulo.

3. Resultados

Os primeiros resultados foram as fotos obtidas com diferentes cores sem o papel vegetal e com apenas 1 vidro jateado (Fig. 9).



Figura 9: Teste realizado com a luz azul, verde e vermelha separadamente, incidindo sobre apenas 1 jateado.

Depois, com dois jateados verificou-se as distâncias necessárias para se obter os melhores resultados da uniformidade de luz. Na seqüência, foto obtida do dispositivo de testes, depois de pronto e montado. A falta da câmera na foto deve-se ao fato de ela estar sendo utilizada para a obtenção desta fotografia.



Figura 10: Protótipo de testes fabricado.

Finalmente, foram obtidas as imagens do papel vegetal de testes sob as diferentes frequências de luz.



Figura 11: Imagem obtida do papel vegetal de teste sob a luz verde



Figura 12: Imagem obtida do papel vegetal de teste sob a luz vermelha.

Os testes realizados com laser infravermelho não produziram nenhum resultado válido para qualquer tipo de análise. A imagem que se obteve se assemelha muito a um chuva estático de televisor comum, onde não foi possível perceber qualquer relação com o material.

A seguir as imagens obtidas através do estereoscópio com luz inclinada do material fornecido pelo Incor. As duas fotografias são do mesmo local, onde a única diferença é a luz da primeira incidindo da direção do canto superior esquerdo e a da segunda do canto superior direito.



Figura13: Imagem com luz incidindo do canto esquerdo superior

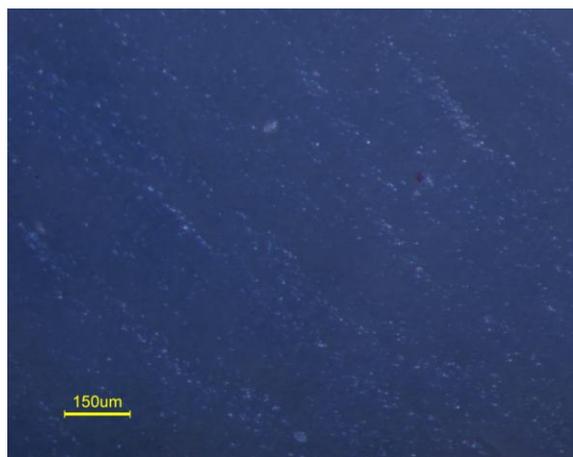


Figura 14: Mesmo local da imagem anterior, agora com luz incidindo no canto direito superior.

Imagens do material da St. Jude Medical:

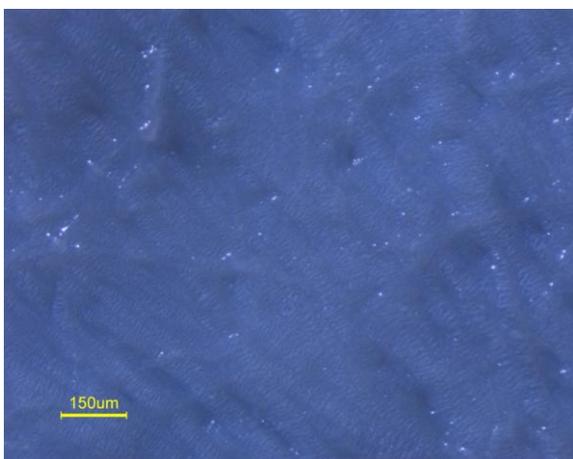


Figura 15: Lado rugoso da película de pericárdio

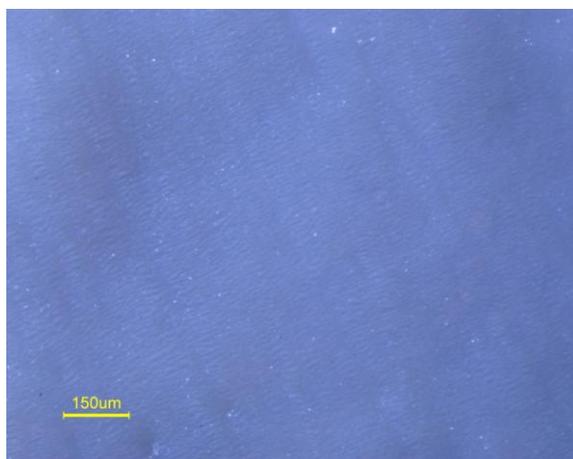


Figura 18: Lado liso do material da St. Jude

A partir das imagens o programa aplica a transformada de Fourier:

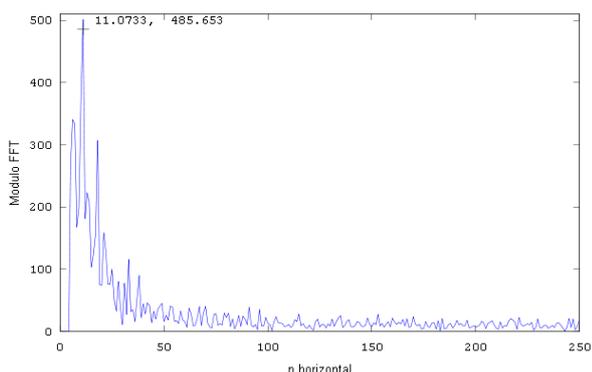


Figura 19: Gráfico resultante do módulo da FFT aplicada em uma linha.

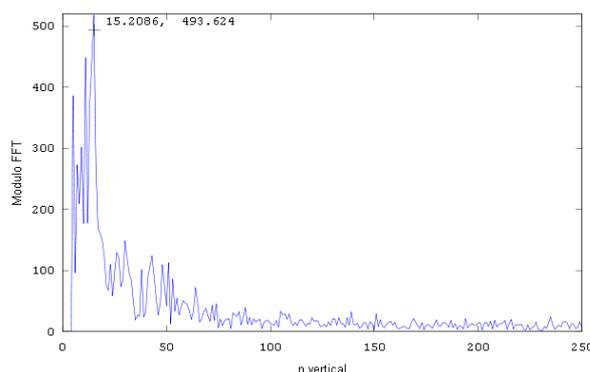


Figura 20: Gráfico resultante do módulo da FFT aplicada em uma coluna.

Assim, com as imagens de 512x512 de resolução do microscópio foi possível calcular a direção das fibras. As linhas foram desenhadas manualmente com os ângulos fornecidos pela saída do programa.

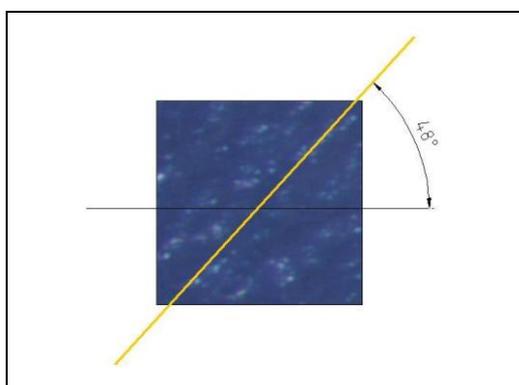


Figura 21: Resultado obtido da imagem do pericárdio fornecido pelo Incor.

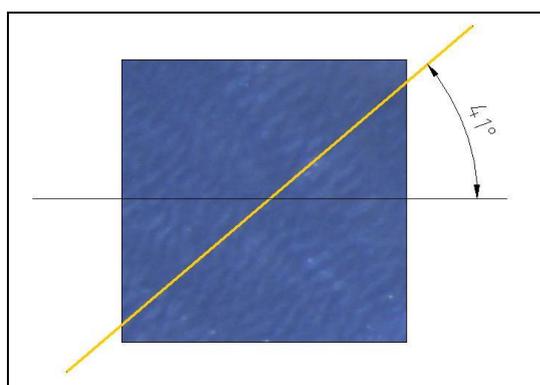


Figura 22: Resultado obtido da imagem do material fornecido pela St. Jude.

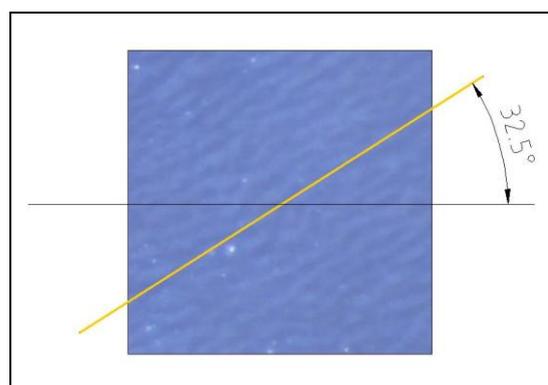


Figura 23: Resultado obtido da imagem do lado liso do pericárdio fornecido pela St. Jude.

4. Conclusões

Este trabalho teve uma primeira fase que foi válida por inserir o estudo no contexto do problema e foi significativa para o andamento de todo o conjunto. Esta fase constituiu na construção de um protótipo de teste juntamente com um largo trabalho de pesquisa para se ambientar no assunto.

A partir das primeiras fotografias obtidas da luz colorida através do vidro jateado, foi possível observar que a intensidade no meio é muito maior do que nas bordas. Como já foi anteriormente descrito, a solução que se achou para tanto foi a utilização de dois vidros jateados ao invés de um. Isso produziu um efeito melhor na distribuição de luz, mas diminuiu a intensidade média da luz final.

Com as imagens feitas de diferentes distâncias dos vidros, observou-se que quanto maior a proximidade dos dois jateados, mais distribuída ficava a luz. Além disso, quanto maior a distância da fonte de luz, mais uniforme fica a luz

que atravessa os jateados, obtendo assim um resultado favorável para a análise. O fator limitante é a intensidade que cai com o aumento da distância, precisando assim ser achado um ponto ótimo.

O dispositivo foi construído a partir das distâncias obtidas considerando estes três aspectos: distribuição, uniformidade e intensidade da luz. As medidas irão variar de acordo com cada tipo de projeto. Uma matriz mais distribuída pode não exigir a presença de dois vidros e um maior número de LEDs permite uma foto com mais definição. Como este primeiro dispositivo visava verificar a viabilidade da solução, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios. Analisando as Figuras 11, 12 é possível perceber que aquela que obteve o melhor resultado foi a luz verde, pois teve uma melhor definição e clareza em comparação às outras. É importante ressaltar que neste teste não foi possível analisar as direções das fibras de colágeno.

A segunda etapa deste trabalho teve uma abordagem mais técnica sobre a questão. Além de testes em laboratório, foi realizada uma pesquisa adicional para complementar o estudo. O primeiro teste, realizado com laser, obteve resultados muito ruins, longe do esperado. Isso provavelmente pode ter acontecido pelo fato de ter sido utilizado um laser infra-vermelho e não de HeNe, que possui um comprimento de onda menor. Uma nova tentativa futura de utilizar o laser precisaria ser realizada, senão com o laser de HeNe, com outro que possua um comprimento de onda na mesma escala. Um anteparo para projetar a imagem antes de fotografar com a câmera é também uma idéia muito válida para fins de facilitar a visualização.

Visto que os resultados obtidos do laser não foram satisfatórios, recorreu-se à utilização de imagens de microscópio, embasados na hipótese de que é possível verificar a direção média das fibras internas analisando sua superfície. Apesar de ser ainda uma hipótese, isso poderia tentar ser comprovado em um trabalho posterior. As imagens obtidas foram de grande importância. Primeiramente foi observado um pedaço do material fornecido pelo Incor, onde é fácil verificar a presença de um direcionamento, ao menos da rugosidade da superfície. A posição da fonte de luz também é de extrema importância (como pode-se verificar comparando as fig. 13 e 14, que foram tiradas exatamente do mesmo local). Por este motivo, todos os materiais foram colocados com as ranhuras de 30° a 50° do eixo horizontal do papel, pois foi com esta angulação que se conseguia os melhores contrastes para a imagem e quando a fonte de luz é rotacionada em 90° na fig. 16 fica evidente a dificuldade de visualizar qualquer direcionamento.

Em seguida, observando-se as imagens do pericárdio fornecido pela St. Jude Medical, foi possível observar que a amostra possuía dois lados distintos, um bem rugoso e cheio de veios e rebarbas e o outro visivelmente bem mais liso. Esta diferença deve-se provavelmente pelo processo de aquisição do material, pois um lado está virado para o coração e o outro está virado para os tecidos externos. Outro fato que pode ser observado na Fig. 5.12, onde mostra o lado irregular da folha de pericárdio é que as rugosidades pequenas (e ao que tudo indica têm ligação direta com as fibras de colágeno) ficam sempre perpendiculares em relação à direção do veio maior onde estão. Isso ajuda muito a sustentar a hipótese onde seria possível verificar a direção das fibras apenas com a observação externa.

Por fim, o algoritmo para indicar a angulação das fibras utilizou o método da transformada de Fourier para realizar os cálculos. A teoria está tem como base o fato de que no momento em que se retira uma linha da imagem bidimensional teria-se um sinal periódico da escala de cinza correspondendo à rugosidade da superfície naquela direção. Tendo as duas direções principais x e y fica fácil calcular o ângulo utilizando regras simples de arco tangente.

A transformada de Fourier foi necessária exatamente para verificar a frequência das escalas de cinza na imagem de mais ocorrente. O algoritmo guarda todo o conjunto de dados onde ocorrem o máximo da transformada de Fourier e depois calcula a média entre todos eles. A saída do programa é uma variável *ang* que corresponde ao ângulo da fibra. Colocando-se as direções apresentadas pelo algoritmo em cima das imagens analisadas é possível observar um resultado plenamente satisfatório. O pequeno erro apresentado na fig. 21 se deve ao fato de não estar com muita nitidez, fato que não ocorreu nos outros testes.

Portanto, tendo em vista o aspecto classificatório do trabalho, é possível afirmar que este conseguiu cumprir seu objetivo. Pesquisas posteriores podem seguir em cima dos fatos aqui levantados para produzir um sistema de verificação automático. Uma idéia de dispositivo poderia ter várias luzes iluminando o tecido em momentos e posições distintas (para se conseguir algumas imagens com melhor contraste) ou então com uma iluminação fixa e um suporte giratório para o pedaço de pericárdio. Um estudo mais profundo para a verificação das hipóteses aqui tomadas também teria grande importância. Com toda a pesquisa envolvida seria plenamente possível melhorar a qualidade das válvulas cardíacas de pericárdio, podendo esta melhoria abranger também até outros materiais biológicos.

5. Referências

- Braile, D. M. "Prótese valvular de pericárdio bovino desenvolvimento e aplicação clínica em posição mitral", São Paulo, 1990, 110p. Tese (Doutorado) - Escola Paulista de Medicina.
- Brandão, C. M. A.; Pomerantzeff, P. M. A.; Puig, L. B.; Cardoso, L. F.; Tarasoutchi, F.; Grimberg, M.; Stolf, N. A.; Verginelli, G.; Jatene, A. D. "Substituição valvar em idosos com biopróteses de pericárdio bovino: resultados tardios de 12 anos", Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular, vol. 14, n. 1, p. 27-31. São José do Rio Preto, 1999.
- Braile Biomédica. "Manual do Paciente Cardíaco", Informativo hospitalar. São José do Rio Preto. <http://www.braile.com.br/saude/hospital1.pdf>. Acesso em 9 de junho de 2008
- Vito, R. P. Applications of Stereology to the Mechanics of Soft Tissues. The Journal of Histochemistry and Cytochemistry, Vol. 27, n.11, p. 1543-1544, 1979.
- Lai, D.; Rao, N.; Kuo, C. H.; Bhatt, S.; Dogra, V. "Independent Component Analysis Applied to Ultrasound Speckle Texture Analysis and Tissue Characterization". Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Lyon, 2007.
- Sacks, M. S.; Smith, D. B.; Hiester, E. D. "A Small Angle Light Scattering Device for Planar Connective Tissue Microstructural Analysis". Annals of Biomedichal Engineering. Vol. 25, p. 678-689, 1997.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. "Digital Image Processing". 2.ed. Nova Jersey, Prentice-Fall, 2002.
- Lindley, C. A. "Practical Image Processing in C". 1.ed. John Wiley & Sons, 1991.
- Press, W.H.; Teukolsky, S.A.; Vetterling, W.T.; Flannery, B.P. "Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing". 2 ed. Cambridge University Press, 1992.

STUDY AND PRELIMINARY TESTS FOR AN OPTICAL METHOD FOR CONTROL OF CARDIAC VALVULAR PROSTHESES

Rene Nogueira Ting

roadpoli-mecanica@yahoo.com.br

Abstract: *This paper proposes a different study method to facilitate the viewing of possible problems with bovine pericardium used for the production of artificial heart valves for use in humans. Therefore, a method based on image analysis with digitalized optical images was used seeking greater definition and accuracy of results. The first part of the work was to design a prototype with purpose to test possibilities. In the second, there was the search for a possible solution for both and tried to obtain images through a laser and a microscope. The image was digitally processed using the method of Fourier transform, thus finding the angle of fibers direction. This report has a classification feature and the devices idea can serve as base for many research and advances in the field of cardiac prostheses as in others related to the image analysis*

Keywords. *artificial heart valves, bovine pericardium, Fourier transform.*