

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia de Computação

**UM MÉTODO PARA ANALISAR E
MEDIR O AVANÇO DO PTERÍGIO EM
OLHOS JÁ DIAGNOSTICADOS**

Autor: Rafael Galvão Mesquita

Orientador: Prof. Dr. Wellington Pinheiro dos Santos



UNIVERSIDADE
DE PERNAMBUCO

RAFAEL GALVÃO DE MESQUITA

**UM MÉTODO PARA ANALISAR E
MEDIR O AVANÇO DO PTERÍGIO EM
OLHOS JÁ DIAGNOSTICADOS**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, junho de 2010.

“Everything should be made as simple as possible, but not simpler”

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço aos meus pais, Ricardo e Sylvia, por todo o investimento, dedicação e esforço com a minha educação. A toda minha família, em especial a minha tia Gisele e minha avó Geny, pelas aulas particulares ainda nos tempos de colégio.

Agradeço a minha querida namorada, Juliana, por todo apoio, e pela excelente companhia nos momentos de lazer.

Agradeço aos meus amigos de faculdade, Diego, Caio, Nathália, Gilliard, Fausto, Arthur, Saulo e Lorena e demais colegas, por tantas horas de estudo em conjunto, e pela convivência e amizade durante esses 5 anos. Em especial a Caio Medeiros, pela participação neste trabalho.

Agradeço em especial ao Prof. Dr. Wellington Pinheiro dos Santos pela dedicação, boa vontade e pelas orientações de excelente qualidade, neste trabalho e na iniciação científica.

Agradeço a todos os meus professores, desde o colégio. Em especial a Carlos Alexandre, Cristine Gusmão, Abel Guilhermino, Claudio Maciel, Sergio Murilo e Mêuser Valença.

Resumo

O pterígio é uma doença comum em países equatoriais de clima tropical, como o Brasil, que se caracteriza pelo crescimento do tecido fibrovascular sobre a córnea. Geralmente ocorre na zona temporal do olho humano e, raramente, pode alcançar a pupila, causando cegueira. Apesar de sua alta incidência, o acompanhamento da evolução do pterígio é realizado de maneira imprecisa e, por falta de ferramentas específicas, o oftalmologista pode apenas observar o estado atual do olho do paciente, não havendo a possibilidade para a aferição precisa do desenvolvimento da patologia. Este trabalho se propõe a desenvolver uma ferramenta capaz de mensurar o avanço da carnosidade por sobre o olho do paciente, dando condições para o devido monitoramento da enfermidade. O método para calcular este avanço baseia-se na análise de imagens digitais de olhos de pacientes com pterígio já diagnosticado. A partir da execução do método proposto por um software, são extraídas informações relativas à evolução da patologia.

Palavras-chave: Pterígio, Processamento Digital de Imagens

Abstract

Pterygium is a common disease in equatorial tropical countries, like Brazil, that consists on the growth of a fibrovascular tissue over the cornea. It usually appears in the temporal area of the eye and, not frequently, it can reach the pupil causing blindness. Despite its high incidence, monitoring the development of pterygium is usually done in an imprecise way and, for a lack of specific tools, the ophthalmologist can only observe the current state of the patient's eye, with no chance for an accurate verification of the disease's development. This paper aims to develop a tool capable of measuring the progress of the fleshiness over the patient's eye, making possible to monitor the disease. The method for calculating this advance is based on analysis of digital images from already diagnosed patient's eyes. From the implementation of the proposed method by software, is possible to extract information about the evolution of the pathology.

Keywords: Pterygium, Digital Image Processing

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Sumário	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Tabela de Símbolos e Siglas	xi
Capítulo 1 Introdução	12
1.1 Objetivos Gerais e Específicos	12
1.2 Organização do Trabalho	12
Capítulo 2 O Olho Humano e o Pterígio	14
2.1 Caracterização do Pterígio	14
2.1.1 Complicações	14
2.1.2 Causas e Grupo de Risco	15
2.1.3 Tratamento	15
2.2 Aspectos Relevantes Sobre o Olho Humano	16
Capítulo 3	19
Experimentos e Resultados	19
3.1 Aquisição das imagens e ferramentas utilizadas	19
3.2 Algoritmo Proposto	20
3.2.1 Cálculo do centro de massa da íris	23
3.2.2 Detecção do Limbo	24
3.2.3 Detecção do tecido fibrovascular do pterígio	26
3.2.4 Medição de distâncias	27
3.2.4 Parâmetros de binarização e elemento estruturante	27

3.3	Resultados	29
Capítulo 4		34
Conclusão e Trabalhos Futuros		34
4.2	Trabalhos Futuros	34
4.2.1	Pterígio nas regiões nasal e temporal em um mesmo olho	34
4.2.2	Detecção de objetos semelhantes ao tecido fibrovascular	35
4.2.3	Aprimoramento do <i>software</i> desenvolvido	35
4.2.3	Definição de um padrão de obtenção de imagens	36
Bibliografia		37

Índice de Figuras

Figura 1.	Olho com pterígio na região nasal do globo ocular.	14
Figura 2.	Coróide, retina e esclera. [11]	16
Figura 3.	Corpo ciliar [12]	17
Figura 4.	Anatomia do olho humano.....	18
Figura 5.	Resumo dos componentes abordados do olho humano [16]	18
Figura 6.	Lâmpada de fenda com acoplamento	20
Figura 7.	Segunda imagem utilizada para análise.....	22
Figura 8.	Terceira imagem utilizada para análise	22
Figura 9.	Quarta imagem utilizada para análise	23
Figura 10.	Imagem utilizada para encontrar um ponto próximo ao centro da íris ..	24
Figura 11.	Imagem utilizada para detecção e reconstrução da elipse representativa do limbo.....	26
Figura 12.	Imagem utilizada para detecção do tecido fibrovascular do pterígio	27
Figura 13.	Histograma da Figura 7	28
Figura 14.	Histograma da Figura 9	28
Figura 15.	Histograma da Figura 8	28
Figura 16.	Histograma da Figura 1	28
Figura 17.	Resultado da análise da imagem da Figura 1	29
Figura 18.	Resultado da análise da imagem da Figura 7	30
Figura 19.	Resultado da análise da imagem da Figura 8	31
Figura 20.	Resultado da análise da imagem da Figura 9	32
Figura 21.	Pterígio nas regiões nasal e temporal em um mesmo olho.....	35

Índice de Tabelas

Tabela 1. Resultados obtidos nas análises.....	33
---	----

Tabela de Símbolos e Siglas

- **RGB:** Red, Green, Blue
- **HC:** Hospital das Clínicas
- **JDK:** Java Development Kit
- **IDE:** Integrated Development Kit
- **API:** Application Programming Interface
- **JAI:** Java Advanced Imaging

Capítulo 1

Introdução

O pterígio é uma enfermidade que se caracteriza pelo crescimento de um tecido carnoso na conjuntiva bulbar do olho, podendo alcançar a pupila e causar cegueira parcial ou total. Apesar do diagnóstico do pterígio ser extremamente simples, a análise do seu avanço ainda é feita de forma subjetiva, uma vez que não existem ferramentas de apoio, e paciente e médico não possuem informações suficientes sobre o progresso da doença, impossibilitando a estimativa de uma data correta para a realização da cirurgia.

O tratamento cirúrgico para o pterígio é a excisão, juntamente com a prevenção de recorrência e restauração da integridade da superfície ocular [1]. Um problema relacionado à cirurgia é a alta taxa de recorrência da doença, assim, a excisão prematura deve ser evitada com o objetivo de privar o paciente de mais uma cirurgia. Por outro lado, o retardo excessivo da cirurgia pode causar danos graves ao paciente, como a cegueira.

Este trabalho apresenta um método computacional para realizar a medição do avanço do tecido fibrovascular do pterígio baseado em imagens digitais de olhos de pacientes já diagnosticados. Utilizando o método proposto, foi construída uma ferramenta para possibilitar aos profissionais da oftalmologia o monitoramento do avanço do pterígio.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Este trabalho possui como objetivo geral a construção de uma ferramenta que auxilie os oftalmologistas no acompanhamento do pterígio em pacientes previamente diagnosticados.

Como objetivo específico, esse trabalho visa o desenvolvimento de um algoritmo que realize as detecções e medições necessárias para garantir o bom funcionamento da ferramenta proposta. Além disso, é de fundamental importância para o trabalho a análise clínica dos resultados obtidos.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 2 são apresentados aspectos relevantes sobre pterígio, caracterizando a doença, citando causas e grupos de risco e, além disso, são descritas complicações e um relato sobre o tratamento de tal enfermidade. Além disso, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a anatomia do olho humano, de maneira a contextualizar o assunto dentro do trabalho proposto.

No Capítulo 3 se discorre sobre as ferramentas utilizadas na construção do *software* e na obtenção das imagens, descrevendo em detalhes o método proposto, apresentando e analisando do ponto de vista computacional e clínico os resultados obtidos.

Finalizando, no Capítulo 4 se realiza uma conclusão geral sobre o trabalho. Contribuições futuras são sugeridas com base em situações ainda não abordadas e em propostas de melhoria.

Capítulo 2

O Olho Humano e o Pterígio

2.1 Caracterização do Pterígio

O termo Pterígio vem do grego, e significa “pequena asa” [2]. O pterígio é uma doença do segmento anterior do olho, que se caracteriza por um tecido fibrovascular de aspecto triangular, que cresce na região interpalpebral da conjuntiva bulbar, podendo alcançar a córnea [3]. Normalmente ocorre na região nasal do globo ocular, mas, raramente, pode ocorrer na região temporal, região oposta à nasal. A Figura 1 ilustra um caso de pterígio na região nasal.



Olho com pterígio na região nasal do globo ocular.

2.1.1 Complicações

As complicações mais frequentemente encontradas incluem irritação crônica, perda parcial ou total da visão, astigmatismo, e ruptura do filme lacrimal [4].

A principal função do filme lacrimal é manter a córnea em boas condições, através da umidificação do ambiente das células epiteliais da córnea e da conjuntiva, protegendo o olho através de ações bactericidas e lubrificando as pálpebras [5]. Desse modo, a ruptura do filme lacrimal

compromete o bom funcionamento do olho, e de alguns de seus mecanismos de segurança.

Já o astigmatismo se caracteriza pela formação da imagem em vários focos em eixos diferenciados. Uma córnea normal é redonda e lisa, e no caso de quem tem astigmatismo, ela se torna um pouco mais oval, fazendo com que a luz se refrate por vários pontos da retina em vez de se focar em apenas um [6]. Em relação ao comprometimento da acuidade visual, a alteração mais encontrada é o astigmatismo assimétrico em favor da regra, que é causado pelo aplanamento da córnea na direção da lesão. As variações da curvatura corneana em virtude da lesão desaparecem por volta de dois meses após a exérese do pterígio [7].

Apesar de ser uma lesão benigna, o pterígio é também uma potencial causa de cegueira, uma vez que o tecido fibrovascular pode crescer e obstruir a pupila, bloqueando a visão do paciente [4]. Assim, este pode comprometer a visão por obscurecimento direto do eixo visual ou pelo astigmatismo irregular induzido pela distorção da córnea [8].

É relevante mencionar o fato de que as complicações relatadas podem ser mais agravantes nos casos de recorrência da doença. O pterígio recorrente, *i.e* o desenvolvimento do tecido fibrovascular do pterígio após a realização da cirurgia, tende a ser mais agressivo no que diz respeito ao seu padrão de crescimento, se comparado à lesão inicial, por conta do trauma cirúrgico e subsequente inflamação pós operatória [8]. A taxa de recorrência dos casos operados por uma cirurgia de exérese simples fica entre 32% e 89% [8]. Desse modo, a excisão precoce pode acelerar o desenvolvimento de uma nova lesão em pacientes predispostos à recorrência, mas por outro lado, o retardo excessivo da cirurgia pode levar o paciente a sofrer sérios danos.

2.1.2 Causas e Grupo de Risco

A doença, em geral, afeta pessoas que residem em regiões equatoriais e de clima árido ou tropical, e que estão em constante exposição ao sol. Quanto à faixa etária, o pterígio acomete com maior frequência em pacientes entre 20 e 50 anos, sem variabilidade significativa entre os sexos [8]. Apesar da sua causa exata ainda não estar completamente definida, estima-se que a exposição à radiação solar ultravioleta, ao vento e à poeira estejam intimamente relacionadas à doença, assim como fatores hereditários [3].

2.1.3 Tratamento

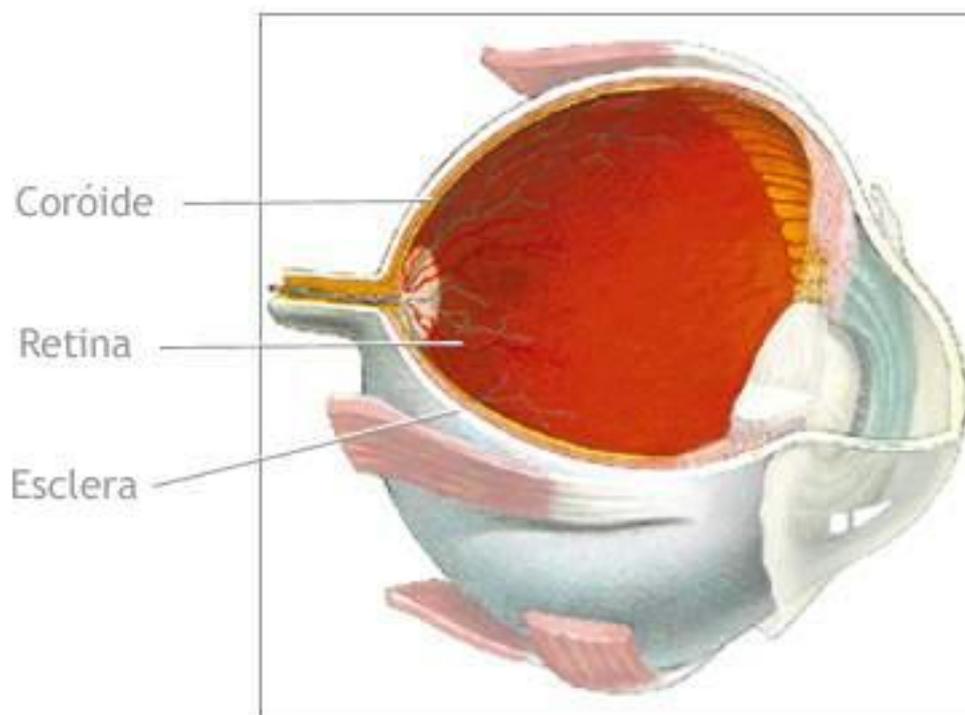
O tratamento do pterígio inclui lágrimas artificiais para melhor lubrificação da córnea e alívio dos sintomas de ressecamento e desconforto ocular, em especial nos dias ensolarados e com vento [3]. Além disso, o uso de barreiras físicas contra a radiação solar, como óculos escuros, é bastante indicado. Em caso de inflamação pode haver necessidade do uso de esteróides fracos por curtos períodos de tempo [9].

O tratamento cirúrgico pode ser indicado por motivos estéticos, interferência com o uso de lentes de contato, irritação significativa, ou progressão sobre o eixo visual [3].

2.2 Aspectos Relevantes Sobre o Olho Humano

O globo ocular possui formato esférico e é composto de três camadas sobrepostas: A membrana ocular externa, camada protetora onde se situa a córnea, a membrana ocular do meio, camada vascular onde se situa a íris e a membrana ocular interna, camada nervosa onde se localiza a retina. Para a compreensão deste trabalho, a segunda membrana, a do meio, possui maior relevância dentre as outras, visto que nela se localiza a íris. A camada média, ou úvea, é composta pela coróide, corpo ciliar e íris, e é também denominada túnica vascular [10].

A coróide é uma camada de vasos sanguíneos e tecido conjuntivo entre a esclera, a parte branca do olho, e a retina, camada interna do olho que recebe e transmite a imagem focada [11]. É responsável pelo suprimento vascular do epitélio pigmentar da retina e da retina sensorial adjacente a ele [10]. A Figura 2 ilustra coróide, retina e esclera.

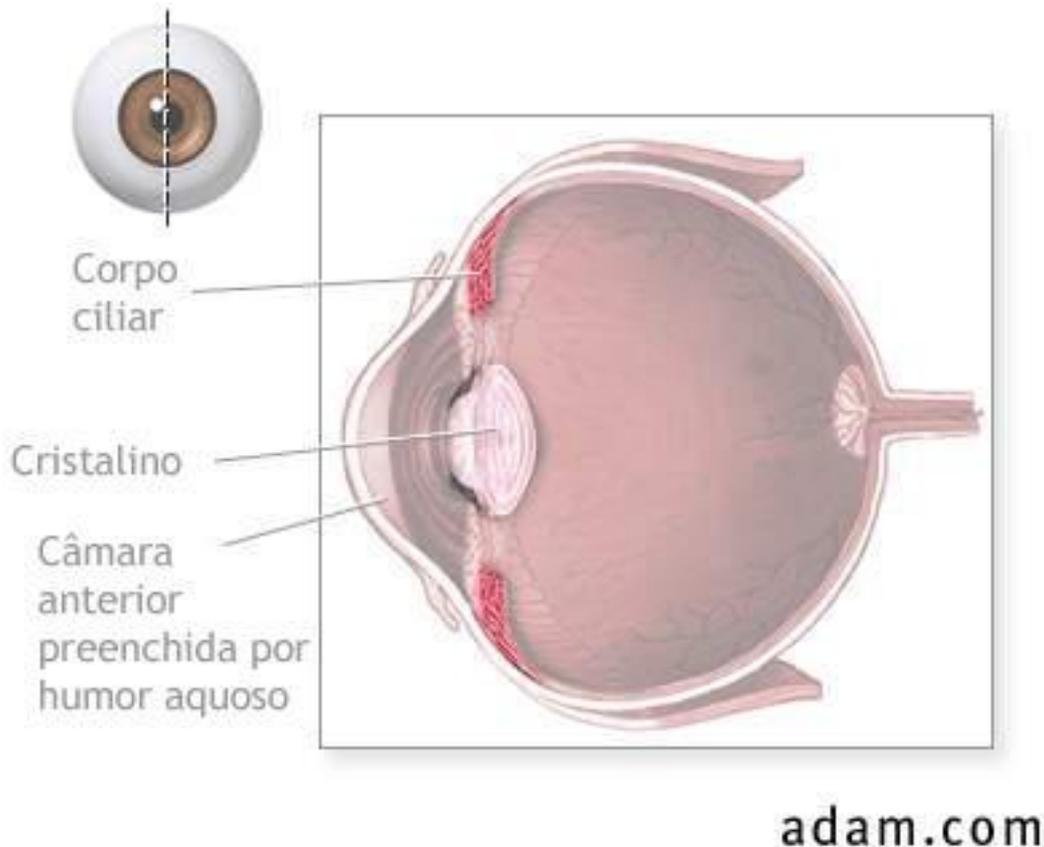


adam.com

Coróide, retina e esclera. [11]

O Corpo ciliar compreende a estrutura vascular do olho que secreta o líquido transparente dentro do olho, o humor aquoso, e contém o músculo ciliar, responsável por alterar a forma do cristalino (também chamada de lente dos

olhos) [12]. A Figura 3 exibe uma ilustração do olho humano, com destaque para o corpo ciliar.

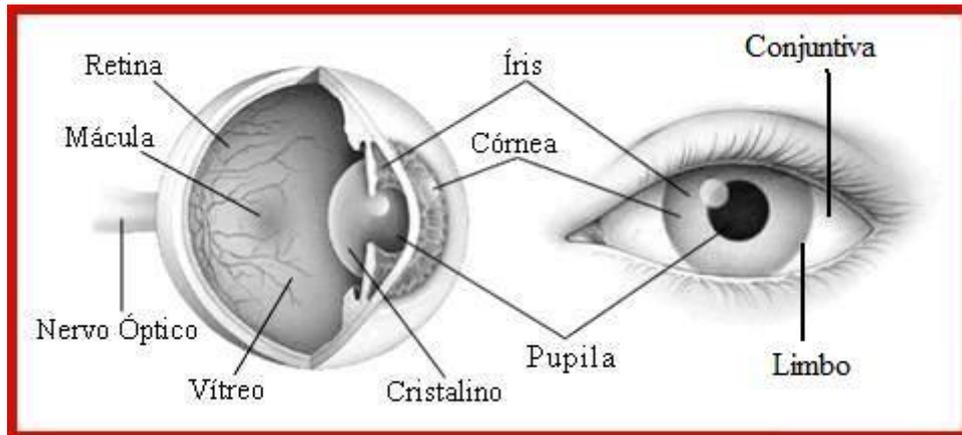


Corpo ciliar [12]

A Íris, parte do olho de maior relevância para o trabalho proposto, é uma fina membrana elíptica, de aproximadamente 12mm de diâmetro [13] que possui uma abertura central: A pupila. A pupila aparece como uma cavidade perfeitamente circular e normalmente mede entre 3mm e 5mm de diâmetro, embora sobre certos estímulos, seu diâmetro possa variar entre 1.5mm e 8mm [14]. É função da íris controlar a dilatação e contração da pupila.

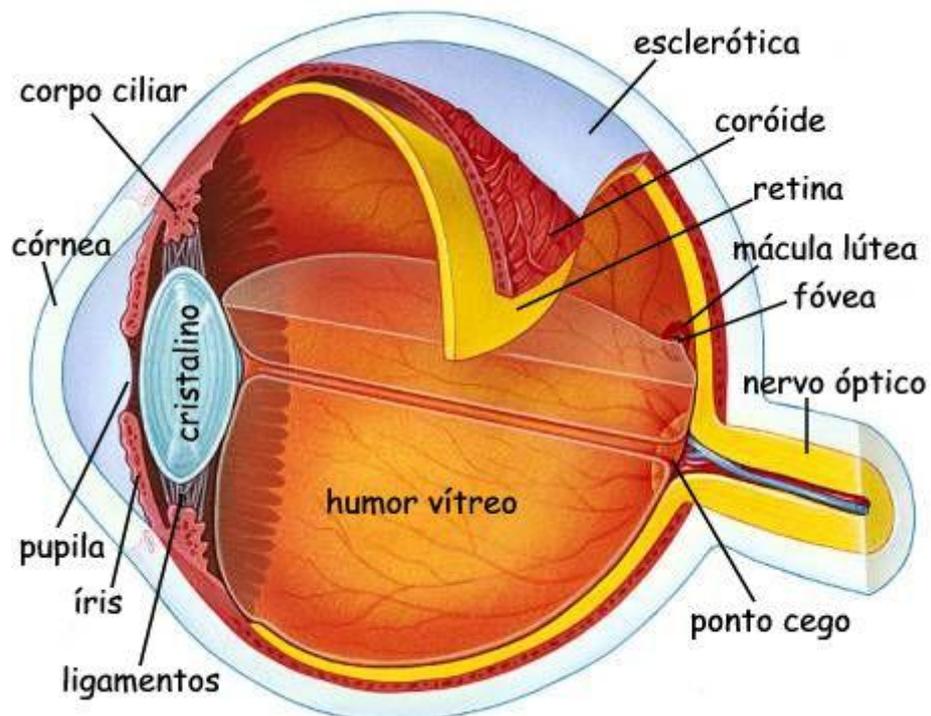
O limbo caracteriza-se pela junção anatômica entre os epitélios corneano e conjuntival, ou seja, pelo limite da íris, ou por sua borda em termos de processamento gráfico. A Conjuntiva é uma membrana mucosa, que reveste a parte interna da pálpebra e a superfície exposta da esclera, popularmente chamada de “branco do olho”. Já a córnea é a parte anterior e protetora do olho dos vertebrados. Fica localizada na região polar anterior do globo ocular, e tem a função de focar a luz através da pupila para a retina, atuando de maneira similar a uma lente fixa [15].

A Figura 4 exibe uma imagem explicativa da anatomia do olho humano, destacando a íris, a conjuntiva e o limbo.



Anatomia do olho humano

A Figura 5 resume todos os componentes do olho humano abordados neste capítulo a partir de uma perspectiva diferente, que facilita o entendimento do assunto.



Resumo dos componentes abordados do olho humano [16]

Capítulo 3

Experimentos e Resultados

Este Capítulo apresenta a solução proposta para a análise e medição do avanço do tecido fibrovascular do pterígio em olhos já diagnosticados. O método proposto será explicado em detalhes, e os resultados obtidos serão apresentados e analisados.

3.1 Aquisição das imagens e ferramentas utilizadas

A aquisição das imagens foi realizada por meio de uma máquina digital, com 0.8 megapixels de resolução, com lentes Carl Zeiss e ajuste automático de foco, gerando uma imagem RGB de 1024x768 pixels. Na obtenção da imagem da Figura 9, em especial, foi utilizada uma segunda máquina fotográfica com 3.1 megapixels de resolução, e, como suporte, uma lâmpada de fenda com acoplamento, ilustrada pela Figura 6, gerando uma imagem RGB de 2048x1536 pixels.

Uma parceria foi firmada com o Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Pernambuco (HC) [17], tanto para a utilização dos equipamentos aqui descritos, como para a formação do banco de imagens a partir pacientes do hospital. Além disso, vale salientar a importância do auxílio recebido a partir do ponto de vista clínico dos profissionais do HC e também do Hospital de Olhos de Pernambuco [18].



Lâmpada de fenda com acoplamento

Para a execução do algoritmo proposto e análise dos resultados, foi desenvolvido um *software*, denominado *Pyterigium Analyzer*. A construção foi realizada por meio da linguagem *Java*, na versão 1.6.0_17 da *JDK* (Java Development Kit), utilizando como IDE (Integrated Development Environment) o *Netbeans* [19], na versão 6.7.1. Para facilitar as operações realizadas com as imagens, foi utilizada a API (*Application Programming Interface*) *JAI* (Java Advanced Imaging) [20].

3.2 Algoritmo Proposto

De maneira a facilitar o entendimento, o algoritmo proposto foi dividido em quatro etapas:

1. Cálculo do centro de massa da íris
2. Detecção do Limbo
3. Detecção do tecido fibrovascular do pterígio
4. Medição de distancias

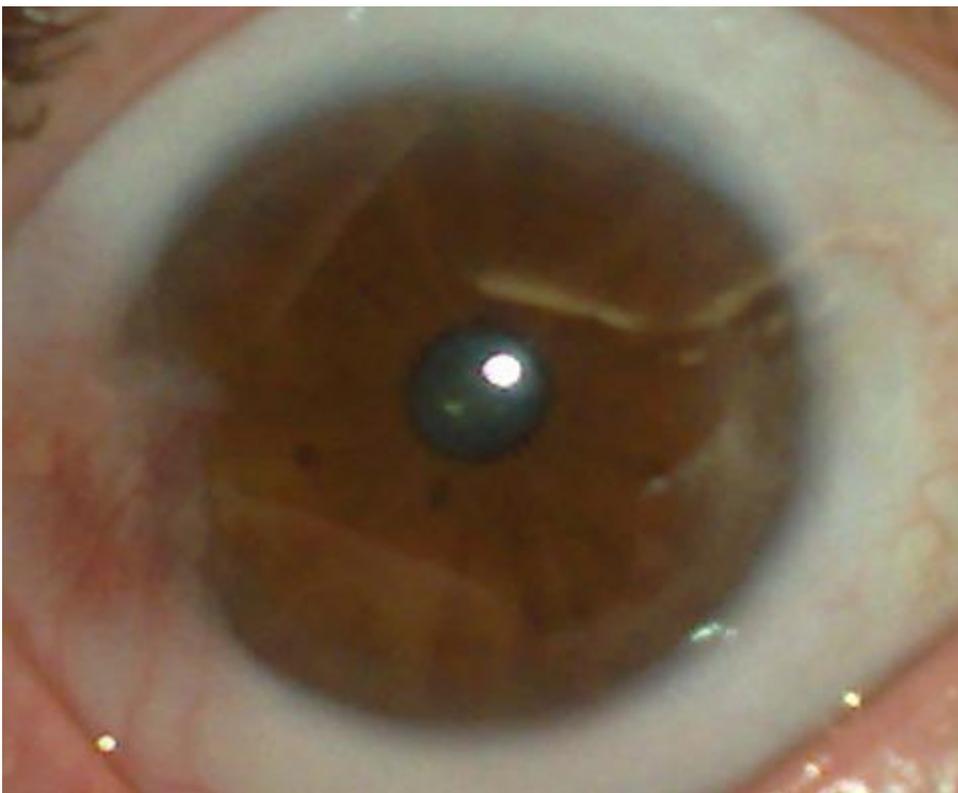
A primeira etapa recebe a imagem RGB original e realiza seu processamento com o objetivo de encontrar o centro de massa da íris. Em

seguida, a segunda etapa recebe a mesma imagem RGB original e as coordenadas x e y do ponto encontrado na primeira etapa, gera uma imagem binária do limbo do olho, e define uma elipse representativa do limbo, reconstruindo as partes escondidas pelo avanço do tecido do pterígio sobre a íris. A terceira etapa gera uma segunda imagem binária contendo o tecido fibrovascular do pterígio. Finalmente, na etapa 4 as distancias procuradas são calculadas. Cada etapa será descrita com maior profundidade nas próximas seções.

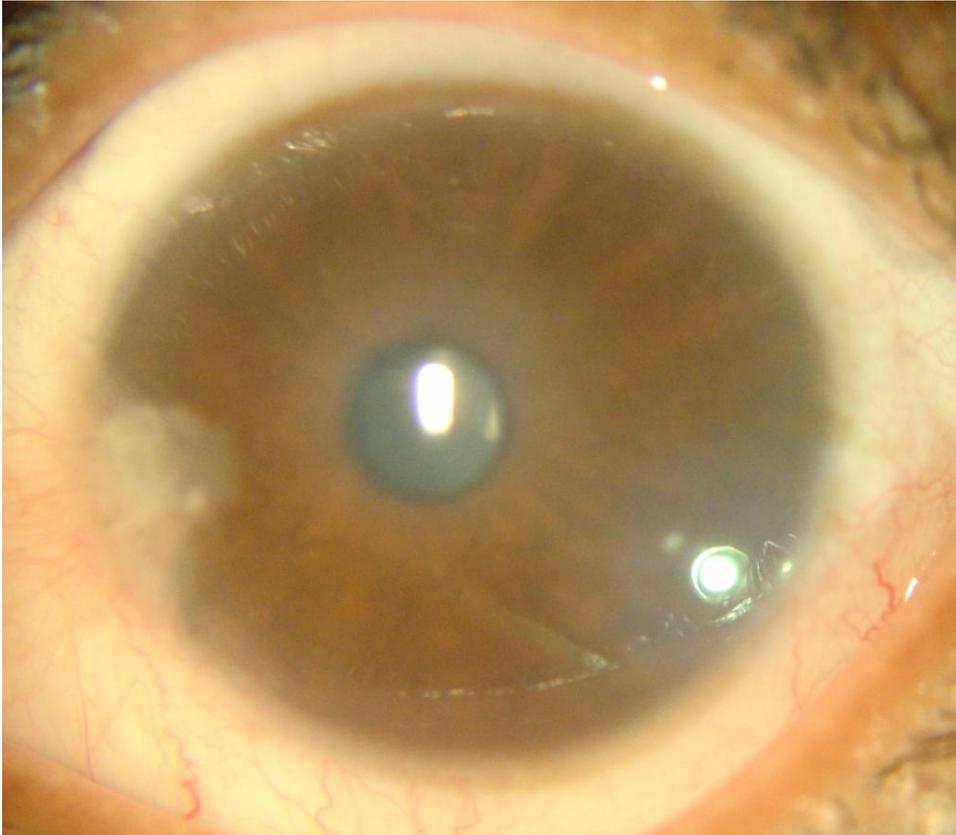
Foram utilizadas neste trabalho, imagens de 4 olhos diferentes já diagnosticados com pterígio, de 3 diferentes pacientes. A Figura 1 exibe a primeira imagem utilizada. A Figura 7 exibe a imagem do olho direito do mesmo paciente da Figura 1, utilizada na segunda análise. Em seguida, a Figura 8 e a Figura 9 ilustram a terceira e quarta análises, respectivamente.



Segunda imagem utilizada para análise



Terceira imagem utilizada para análise



Quarta imagem utilizada para análise

3.2.1 Cálculo do centro de massa da íris

Esta etapa recebe a imagem original como entrada e realiza seu processamento com o objetivo de encontrar um ponto próximo ao centro da íris. Vale salientar que o centro de massa será um ponto próximo ao real centro da íris, mas não o centro em si, devido à possibilidade de alguns ruídos persistirem na imagem, e ao fato de parte da região da íris estar escondido pelo tecido do pterígio. A seguir, uma divisão dos passos realizados nesta etapa:

1. Binarização
2. Inversão
3. Abertura
4. Cálculo dos momentos

Inicialmente a imagem original é binarizada e logo em seguida é invertida. Após a inversão, o operador morfológico de abertura é utilizado para remover ruídos fora da íris. Para finalizar esta etapa os momentos são calculados e as coordenada x e y do centro de massa da íris são encontrados. Os momentos geométricos de ordem $p+q$ de uma função discreta f , e.g uma

imagem, com dimensões $M \times N$, são definidos a partir da seguinte equação [21], com (x,y) como coordenadas de um ponto em uma determinada região:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x,y) \quad (1)$$

As coordenadas do centro de massa podem ser encontradas utilizando as seguintes expressões:

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} ; y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (2)$$

A Figura 6 mostra uma imagem gerada por esta etapa:



Imagem utilizada para encontrar um ponto próximo ao centro da íris

3.2.2 Detecção do Limbo

Nesta etapa a imagem original do olho do paciente é binarizada, e logo em seguida invertida. Em seguida, o operador morfológico de fechamento é utilizado para remover ruídos dentro da íris, geralmente gerados por reflexos na imagem. A seguir, uma divisão dos passos realizados nesta etapa:

1. Binarização
2. Inversão
3. Fechamento

4. Cálculo do perímetro

Em seguida, o perímetro da imagem é calculado com um elemento de vizinhança 4-conectado. No cálculo do perímetro, cada *pixel* da imagem é analisado separadamente e se todos os *pixels* na vizinhança de um determinado *pixel* forem diferentes de zero, então o *pixel* analisado não pertence ao perímetro da imagem, e seu valor é configurado para zero.

Após o cálculo do perímetro, os primeiros pontos à esquerda e à direita do centro de massa da pupila, calculado na primeira etapa, são encontrados. Do ponto mais a esquerda ao ponto mais a direita a distância entre os pontos brancos, ou seja, pertencentes ao perímetro, imediatamente acima e imediatamente abaixo ao ponto atual é calculada e armazenada. Ao fim do processo, a maior distância armazenada será o eixo menor da elipse. Além disso, o ponto médio deste segmento será definido como o centro da íris. A metade do eixo maior da elipse será a maior das distâncias entre o centro e o ponto mais a esquerda, e o centro e o ponto mais a direita. O cálculo do eixo maior é realizado dessa maneira por que uma dessas distâncias provavelmente possuirá uma parte escondida pelo tecido do pterígio, e então, a outra metade é utilizada. A seguir, a equação canônica da elipse, em que a metade do eixo maior é representada por a e a metade do eixo menor representada por b :

$$1 = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \quad (3)$$

Pelo fato da Equação 3 ser centrada na origem da imagem, todas as coordenadas x e y dos pontos da elipse serão acrescidos dos valores das coordenadas x e y , respectivamente, do ponto localizado no centro da íris. A Figura 7 exhibe a imagem binária gerada por esta etapa, e é utilizada para a construção da elipse representativa do limbo:

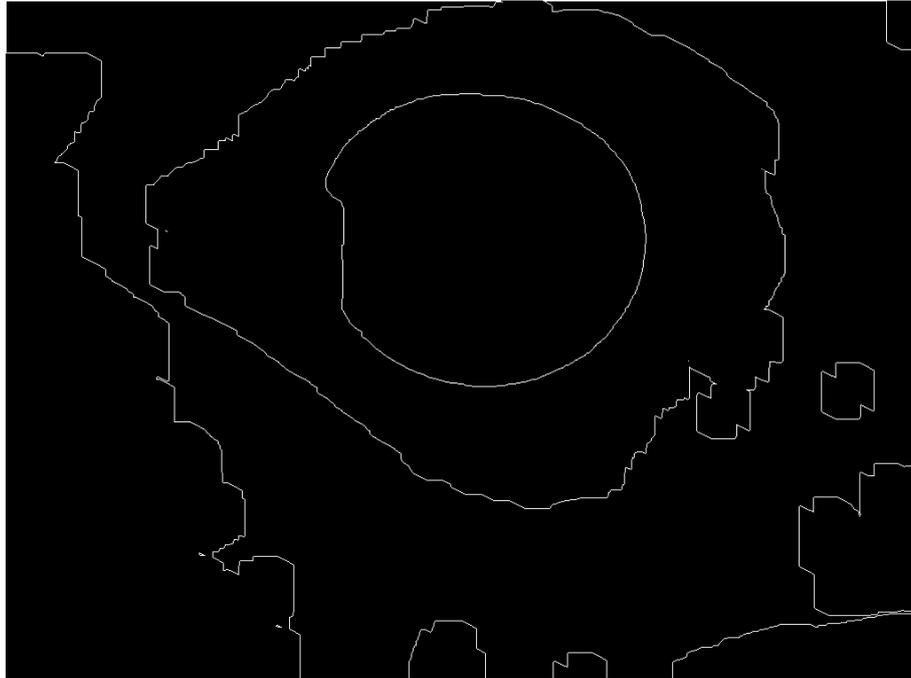


Imagem utilizada para detecção e reconstrução da elipse representativa do limbo

3.2.3 Detecção do tecido fibrovascular do pterígio

Os passos desta etapa são similares ao da etapa anterior (detecção do limbo). O fator diferencial entre elas está na ausência da construção de uma elipse e no limiar utilizado para a binarização (na detecção do tecido fibrovascular do pterígio foi utilizado o valor um limiar menor do que o utilizado na detecção do limbo). Ao invés de utilizar a mesma imagem gerada pela etapa anterior, esta etapa foi incluída de forma a ganhar precisão na busca pelo tecido do pterígio, sem perder precisão na detecção do limbo. A Figura 8 exibe uma imagem gerada para detecção do tecido fibrovascular do pterígio. É possível notar, em relação à Figura 8, que áreas do pterígio foram preservadas por conta da diminuição do limiar utilizado.



Imagem utilizada para detecção do tecido fibrovascular do pterígio

3.2.4 Medição de distâncias

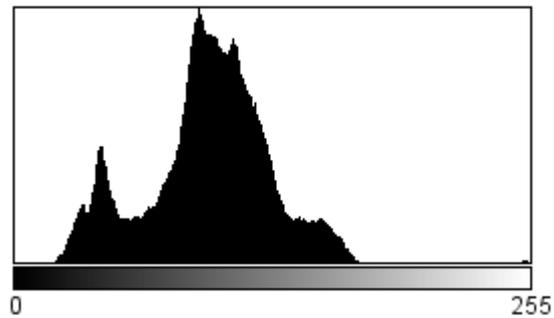
Ao chegar neste ponto, já se possui informações sobre o centro da íris, e sobre duas classes resultantes das etapas anteriores: o tecido do pterígio, e o limbo. Assim, é possível calcular as distâncias de cada *pixel* de cada uma das duas classes em relação ao centro da íris. Isso é necessário pelo fato de a íris possuir forma elíptica, ou seja, não existe um raio. As menores distâncias entre o limbo e o centro da íris, e entre o tecido fibrovascular e o centro da íris serão definidas como distância do limbo e distância do pterígio, respectivamente.

3.2.4 Parâmetros de binarização e elemento estruturante

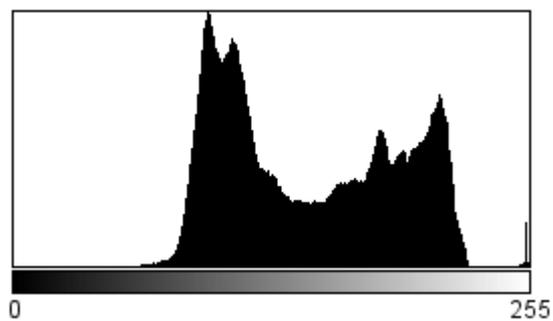
Para os olhos das Figuras 1, 7 e 8 foi utilizado um limiar de binarização de valor 5, em uma escala que varia de 0 a 255, na etapa do cálculo do centro de massa. Para as etapas posteriores, de detecção do limbo e detecção do tecido fibrovascular do pterígio, foi utilizado um limiar de 85 e 50, respectivamente. Para as mesmas três imagens, foram utilizados elementos estruturantes em forma de disco de dimensões de 19×19 pixels para a etapa do cálculo do centro de massa, e 58×59 pixels para as etapas de detecção do limbo e do pterígio.

Para a imagem da Figura 9, no entanto, foi necessário um reajuste nos parâmetros, devido ao fato da imagem ter sido obtida de forma diferente. Como a imagem possui, em geral, tonalidades de nível de cinza mais próximas do branco, os limiares utilizados para as binarizações de cada etapa tiveram que ser aumentados para que as regiões de interesse de cada etapa pudessem ser detectadas. A seguir as Figuras 13, 14, 15 e 16, ilustram os histogramas das imagens das Figuras 7, 9, 8 e 1, respectivamente. A análise dos histogramas facilita o entendimento do motivo das alterações, ou seja, fica clara a maior concentração de pixels com nível de cinza mais próximo do branco no

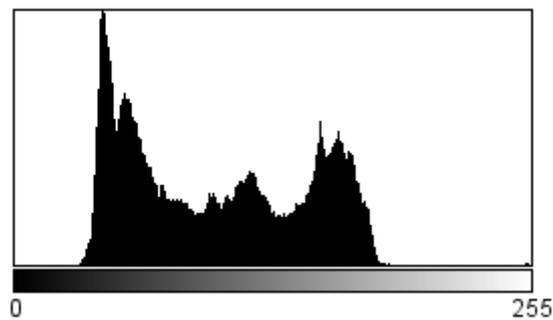
histograma da imagem da Figura 9, em relação aos histogramas das outras imagens.



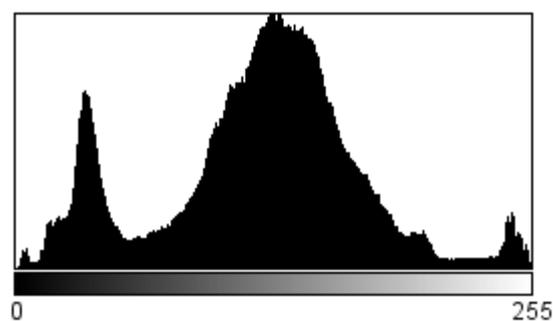
Histograma da Figura 7



Histograma da Figura 9



Histograma da Figura 8



Histograma da Figura 1

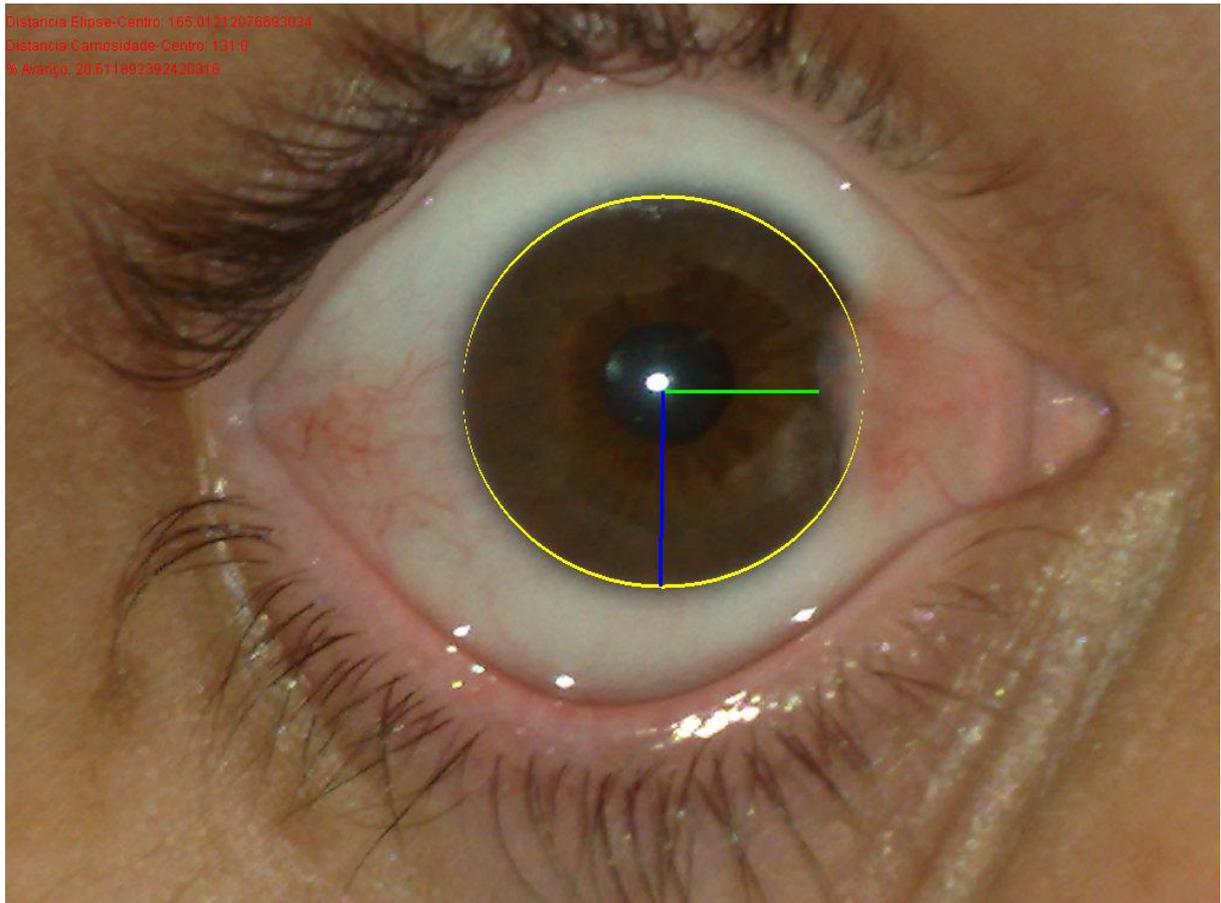
Dessa forma, para a imagem da Figura 9, foram utilizados limiares de binarização de 120, 142 e 130 para as etapas do cálculo do centro de massa, detecção do limbo e detecção do tecido fibrovascular do pterígio. O formato dos elementos estruturantes foi mantido, mas as dimensões foram alteradas. Para o cálculo do centro de massa foi utilizado um disco de 19×19 pixels e para as etapas de detecção do limbo e do tecido do pterígio foi utilizado um disco de 109×109 pixels. A explicação para a necessidade de um elemento estruturante maior se deve ao fato de a imagem da Figura 9 possuir maiores dimensões.

3.3 Resultados

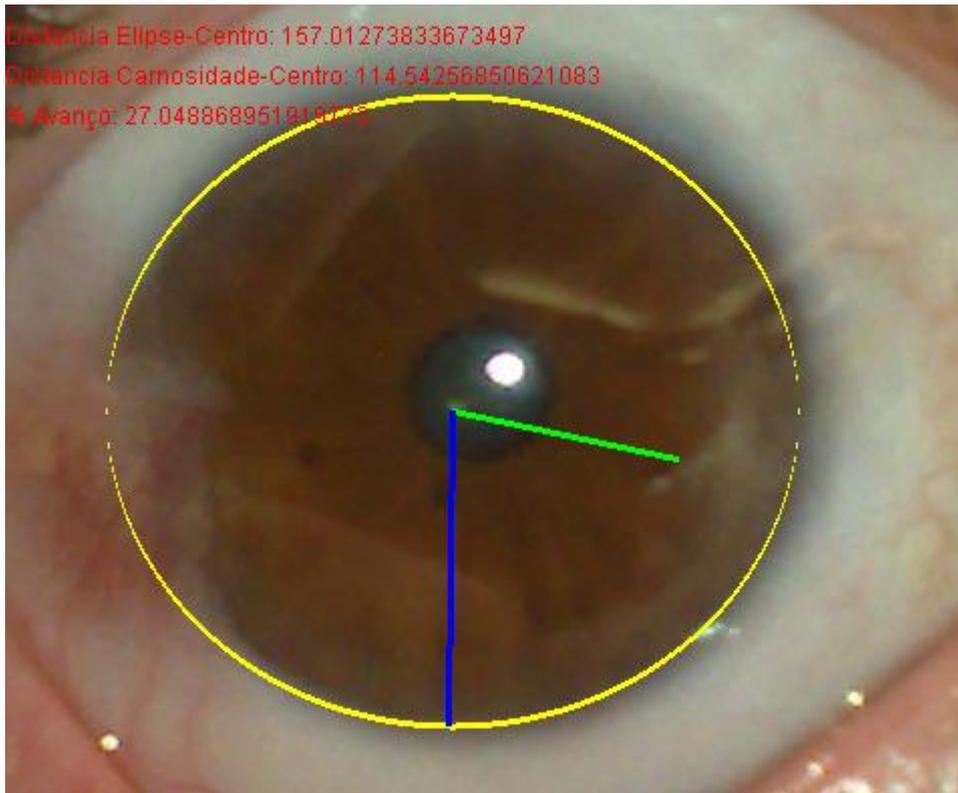
As Figuras 14, 15, 16 e 17 ilustram os resultados das detecções das imagens das Figuras 1, 7, 8 e 9, respectivamente. A linha azul representa a distância do centro da íris ao limbo, a linha verde representa a distância do centro da íris ao tecido fibrovascular do pterígio, e a elipse amarela representa o limbo, juntamente com a reconstrução da região escondida pelo tecido do pterígio.



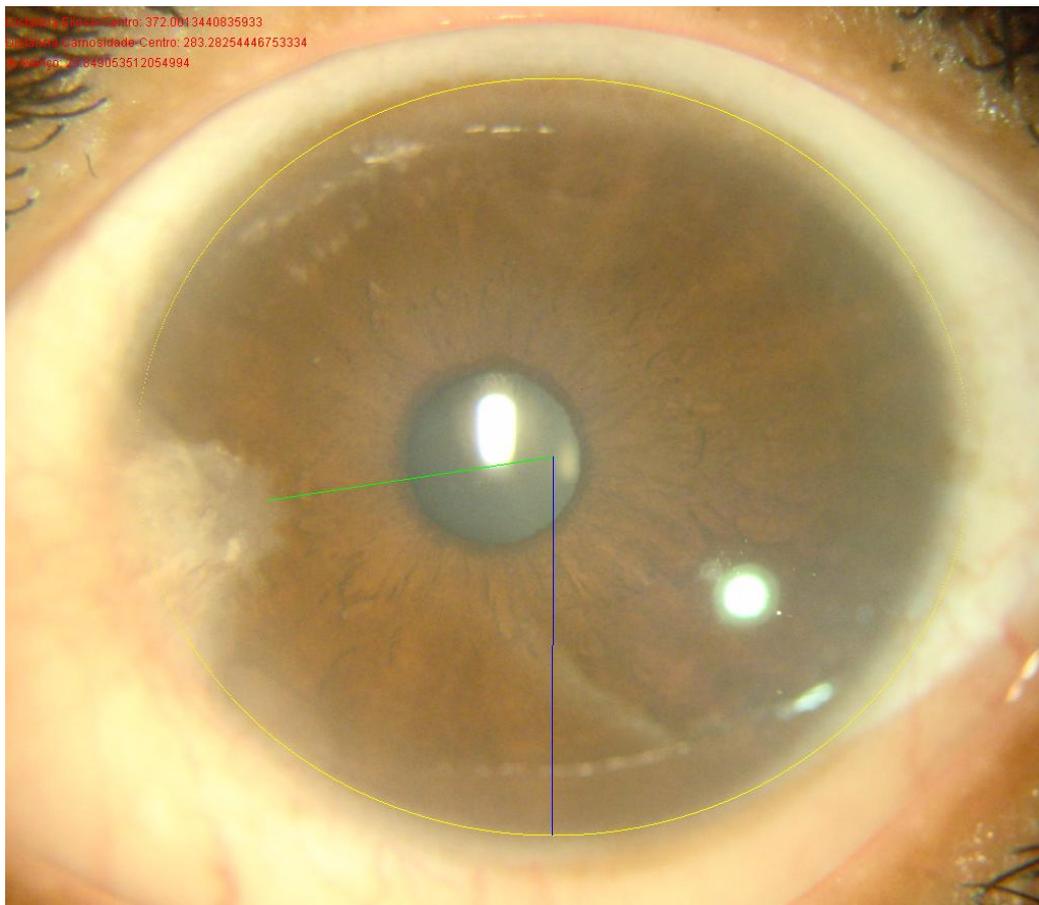
Resultado da análise da imagem da Figura 1



Resultado da análise da imagem da Figura 7



Resultado da análise da imagem da Figura 8



Resultado da análise da imagem da Figura 9

Todas as quatro imagens resultantes foram analisadas por oftalmologistas do Hospital das Clínicas e as três primeiras foram validadas como detecções corretas. Quanto à imagem da Figura 19, houve divergência na validação. Alguns profissionais validaram a detecção como correta, enquanto outros discordaram, argumentando que o objeto detectado na imagem na verdade não se caracteriza pelo tecido fibrovascular do pterígio e sim por marcas de cirurgias de pterígio anteriores. Um forte indicativo desse fato seria a inexistência de continuidade entre o tecido do pterígio e a esclera. A seguir a Tabela 1 resume os resultados obtidos:

Tabela 1. Resultados obtidos nas análises

Figura	Distancia centro-limbo	Distancia centro-pterígio	% avanço
Figura 1	164.012	128.000	21.957
Figura 7	165.012	131.000	20.611
Figura 8	157.012	114.542	27.048
Figura 9	372.001	283.282	23.049

Capítulo 4

Conclusão e Trabalhos Futuros

Apesar de o pterígio ser uma enfermidade de diagnóstico simples, bastante comum em países tropicais, e que pode levar o paciente a sérios problemas, inclusive ao comprometimento parcial da visão, ainda não existem ferramentas que auxiliem os profissionais de oftalmologia no acompanhamento do desenvolvimento da doença.

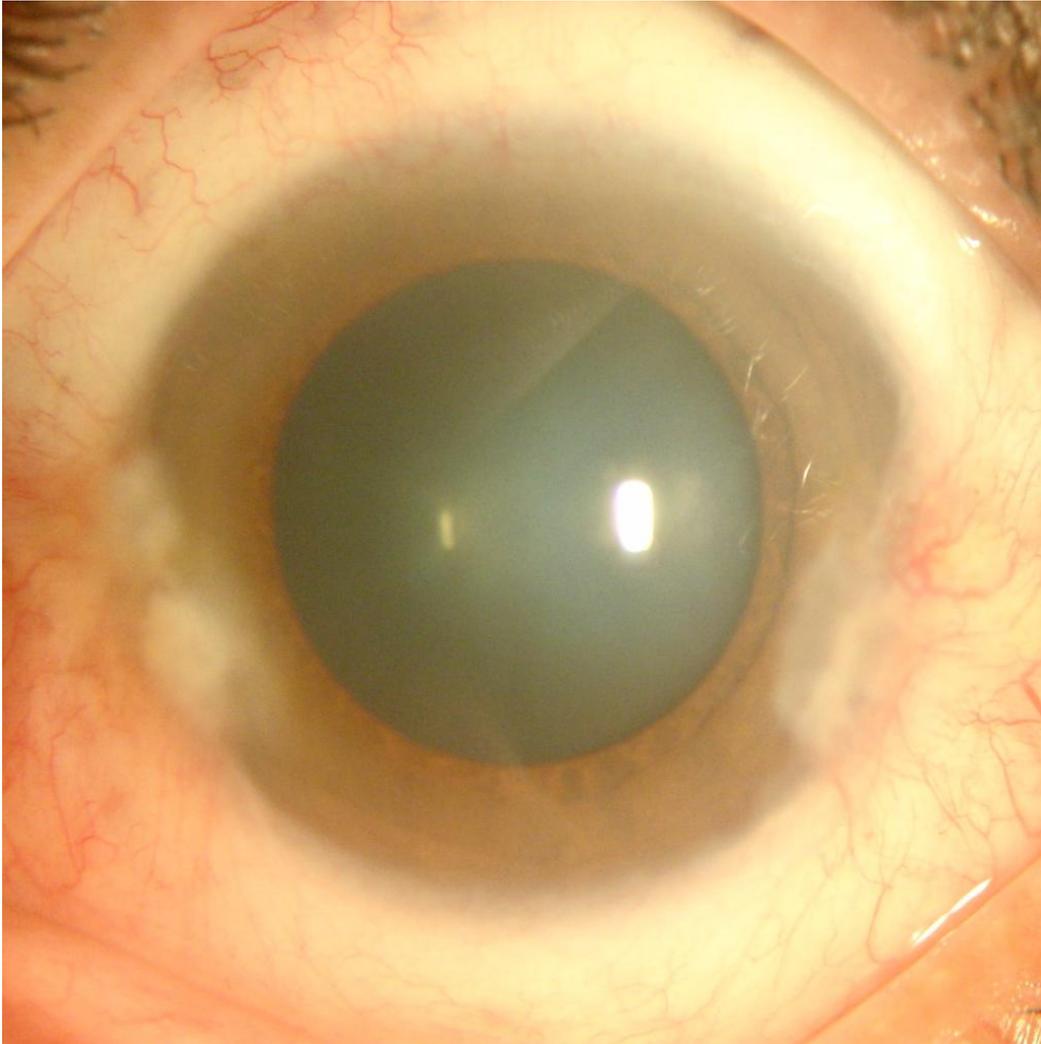
Este trabalho apresentou uma técnica pioneira para o monitoramento do desenvolvimento do pterígio em pacientes já diagnosticados. Além disso, foi construído um *software* para a execução do método proposto, e análise dos resultados.

O algoritmo proposto foi executado para quatro olhos, de diferentes pacientes já diagnosticados com pterígio e os resultados obtidos foram analisados por oftalmologistas do Hospital das Clínicas. Além disso, um banco de dados de imagens está atualmente em formação para futuras análises e prosseguimento do trabalho.

4.2 Trabalhos Futuros

4.2.1 Pterígio nas regiões nasal e temporal em um mesmo olho

Devido ao fato de o método aqui proposto buscar pelos eixos maior e menor da elipse representativa do limbo para efetuar sua detecção e reconstrução, é possível afirmar que a técnica deste trabalho é falha para casos de pacientes com ocorrência de pterígio nasal e temporal em um mesmo olho. Isso acontece por que existe uma grande probabilidade de as duas metades do eixo maior da elipse estarem escondidas por regiões do tecido fibrovascular do pterígio. Como proposta de trabalho futuro, um estudo poderia ser realizado com o objetivo de estimar uma relação entre os eixos maior e menor da elipse representativa do limbo. Desse modo, uma alternativa para o problema aqui exposto seria estimar o tamanho do eixo maior baseado no eixo menor, que seria detectado sem grandes problemas. A Figura 21 ilustra um caso de pterígio nasal e temporal em um mesmo olho.



Pterígio nas regiões nasal e temporal em um mesmo olho

4.2.2 Detecção de objetos semelhantes ao tecido fibrovascular

A análise da Figura 19 revelou um fato interessante e bastante importante para este trabalho. Como já afirmado anteriormente, houve divergência entre oftalmologistas quanto à avaliação da detecção realizada: alguns acreditaram que a região detectada se tratava realmente do tecido do pterígio, enquanto outros, em maior número, discordaram. Tomando como base explicação de que a região detectada como pterígio, provavelmente, é apenas uma marca resultante de uma excisão de um pterígio anterior, trabalhos futuros podem lançar mão de técnicas de processamento digital de imagens para classificar como pterígio apenas regiões dentro da íris que possuam continuidade com a esclera. Tal alteração resultaria em um aumento na robustez do algoritmo proposto.

4.2.3 Aprimoramento do software desenvolvido

Seria de grande importância que o software desenvolvido fosse aprimorado para facilitar a alteração de parâmetros, como o limiar de binarização e a escolha do elemento estruturante a ser utilizado. Tais

modificações seriam irrelevantes para os profissionais de oftalmologia que utilizassem o software como ferramenta, mas seria útil para profissionais que viessem a trabalhar na melhoria do método proposto, ou para validar imagens de diferentes tipos. Desse modo, diversos parâmetros poderiam ser testados em tempo de execução e sem a necessidade de recodificação.

4.2.3 Definição de um padrão de obtenção de imagens

De modo a aumentar a confiabilidade da ferramenta desenvolvida, é de fundamental importância que seja definido um padrão de obtenção de imagens. Parâmetros da imagem a ser obtida, como resolução da máquina fotográfica, taxa de luminosidade do ambiente, tipo de foto e distância da máquina devem ser mantidos fixos, ou ao menos dentro de um limite razoável, de forma a evitar variações relevantes, ou até perda de informações na imagem. Além disso, algoritmos poderiam ser aplicados para validação da qualidade da imagem, antes da execução do método. Por exemplo, uma análise do histograma poderia ser realizada para determinar se a imagem está dentro dos padrões previstos.

Bibliografia

- [1] Abdalla, W. M.; Efficacy of limbal-conjunctival autograft surgery with stem cells in pterygium treatment. Disponível em:
<http://www.meajo.org/article.asp?issn=09749233;year=2009;volume=16;issue=4;spage=260;epage=262;aulast=Abdalla>. Acesso em: 01 mar. 2010
- [2] SCHELLINI, S.A. et al. Características de portadores de pterígio na região de Botucatu. ArqBras Oftalmol. v.68, n. 3, p.291-4, 2005.
- [3] SILVA da, A.P.M. Pterígio: uma abordagem atualizada dos métodos de tratamento e da importância da fotoproteção ocular. Rio de Janeiro, 2008.
- [4] KANSKI, J. Oftalmologia Clínica: uma abordagem sistemática, Elsevier, 2004.
- [5] OLIVEIRA P. R. CIBER SAÚDE | RBM REVISTA BRASILEIRA DE MEDICINA. Disponível em:
http://www.cibersaude.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=1597. Acesso em: 18 abr. 2010.
- [6] Hospital de olhos de São Paulo - Oftalmologia, cirurgias: catarata, miopia, etc. Disponível em:
http://www.hospitaldeolhos.net/conteudo/index2.asp?id_canal=4&id_secao=164&titulo=Astigmatismo. Acesso em: 20 abr. 2010
- [7] FERRAZ, F.H.S et al. Pterígio e alterações da curvatura corneana. Arq Bras Oftalmol. v.65, n. 5, p. 533-6, 2002.
- [8] MACHADO, M.A.C. - Comparação entre diferentes técnicas para o tratamento do pterígio recidivado. Disponível em:
http://www.cibersaude.com.br/revistas.asp?id_materia=2525&fase=imprimir. Acesso em: 23 abr. 2010
- [9] KANSKI, J. Oftalmologia Clínica: uma abordagem sistemática. 5.ed. Rio de Janeiro: Elsevier,2004.
- [10] Anatomia Ocular. Disponível em:
<http://portaldacatarata.com.br/home/saibamais.asp?cod=10>. Acesso em: 18 abr. 2010
- [11] Coróide. Disponível em:
<http://adam.sertaoggi.com.br/encyclopedia/ency/article/002318.htm>. Acesso em: 18 abr. 2010
- [12] Corpo Ciliar. Disponível em:
<http://adam.sertaoggi.com.br/encyclopedia/ency/article/002319.htm#>. Acesso em: 05 mar. 2010

- [13] Anatomia do olho. Disponível em:
<http://www.laboratoriorigor.com.br/anatomia.html>. Acesso em: 06 mar. 2010
- [14] SCHÜNKE, M.P. Atlas de Anatomia: Cabeça e Neuroanatomia. Rio de Janeiro; Guanabara Koogan, 2007. ISBN: 978-85-277-1313-9.
- [15] Córnea, abril de 2010. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Córnea>
- [16] Óptica Atlantis: Cristalino. Disponível em:
<http://opticaatlantis.blogspot.com/2006/12/cristalino.html>. Acesso em: 05 mar. 2010
- [17] Universidade Federal de Pernambuco - Hospital das Clínicas. Disponível em: <http://www.ufpe.br/hc/>. Acesso em: 03 mar. 2010.
- [18] Hospital de Olhos de Pernambuco. Disponível em:
<http://www1.informazione.com.br/cms/opencms/hope/pt/home/index.html>
. Acesso em: 03 mar. 2010.
- [19] Welcome to NetBeans. Disponível em: <http://netbeans.org/>. Acesso em: 03 mar. 2010.
- [20] jai: Java Advanced Imaging Parent Project. Disponível em:
<https://jai.dev.java.net/>. Acesso em: 06 mar. 2010.
- [21] PEDRINI, H. SCHWARTZ.W.R. Momentos. In: Análise de Imagens Digitais. Princípios, algoritmos e aplicações. 1st ed. São Paulo: Thomson Learning, 2008. Cap 7, p. 271-272.