

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
CÂMPUS CAMPINAS

Matheus Teles de Paiva Alves

**ESTIMANDO INCONSISTÊNCIAS EM IMAGENS DE PESSOAS GERADAS POR  
COMPUTADOR PARA A ANÁLISE FORENSE DE DOCUMENTOS DIGITAIS**

CAMPINAS

2017

Matheus Teles de Paiva Alves

**ESTIMANDO INCONSISTÊNCIAS EM IMAGENS DE PESSOAS GERADAS POR  
COMPUTADOR PARA A ANÁLISE FORENSE DE DOCUMENTOS DIGITAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Câmpus Campinas.

Orientador: Tiago José de Carvalho

CAMPINAS

2017

A474e Alves, Matheus Teles de Paiva  
Estimando inconsistências em imagens de pessoas geradas por computador para a análise forense de documentos digitais / Matheus Teles de Paiva Alves. – Campinas, 2017.  
34f. : il.

Orientador: Tiago José de Carvalho.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Campinas. Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, 2017.

1. Forense. 2. Imagem. 3. Computação gráfica. 4. Classificação de imagens. 5. Extração de reflexão. 6. Distinção entre PG e CG. I. Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Campinas. Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. II. Título.

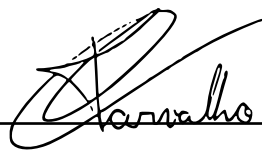
Matheus Teles de Paiva Alves

**Estimando inconsistências em imagens de pessoas geradas por computador para análise forense de documentos digitais**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Câmpus Campinas.

Aprovado pela banca examinadora em: 11 de dezembro de 2017

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Tiago José de Carvalho (orientador)  
IFSP Câmpus Campinas

Prof. Me. Carlos Beluzo  
IFSP Câmpus Campinas

Me. Antonio Theophilo  
CTI - Renato Archer

"People die if they are killed."

Emiya Shirou, Fate/Stay Night

## RESUMO

Esse trabalho realiza um estudo a fim de diferenciar uma imagem gerada por computador (CG) de uma gerada por foto (PG) com a análise da íris de uma pessoa na imagem. Conforme as tecnologias de computação gráfica vêm melhorando em realismo, elas criam a necessidade do desenvolvimento de métodos que distingam realidade de ficção já que torna-se cada vez mais difícil para uma pessoa realizar esta diferenciação. O objetivo deste projeto é separar os componentes difuso e especular da íris, de forma que seja possível reconstruir o componente difuso. A partir de tal procedimento, utilizamos este componente para analisar imagens de CG e PG, de forma a procurarmos detalhes que nos permitam diferenciar imagens de CG de imagens de PG.

**Palavras-chave:** Forense. Imagem. Computação Gráfica. Classificação de imagens. Extração de reflexão. Distinção entre PG e CG.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de reflexão. . . . .	12
Figura 2 – Diagrama de uma elipse. $a$ representa o raio maior, representado no eixo $y$ . $b$ representa o raio menor, representado no eixo $x$ . $F$ é a distancia dos pontos focais $f_1, f_2$ ao centro da elipse. . . . .	13
Figura 3 – Diagrama da linha normal $N$ e a reta tangente $tp$ de uma elipse em um ponto $p$ . $f_1, f_2$ sendo os pontos focais. O ângulo $\alpha_n$ é usado para determinar a direção de $N$ , $\alpha_n$ sendo a metade do ângulo $\alpha$ . . . . .	14
Figura 4 – Diagrama do comportamento da lente óptica. $d$ , é a distancia do objeto à lente. $f$ , é a distancia focal da lente. $s$ , é a distancia do objeto ao sensor. . .	15
Figura 5 – Diagrama do cálculo para gerar um ponto S na superfície da córnea. . . . .	16
Figura 6 – Exemplo de uso da interface. O campo Load contém o caminho da imagem analisada. O campo Save contém o caminho em que o resultado será armazenado. . . . .	19
Figura 7 – Exemplo do recorte da Região de interesse, vermelha, em uma imagem base.	20
Figura 8 – Diagrama para o cálculo de Distância da Câmera. $img$ , é o tamanho da imagem. $d$ , é a distância da câmera ao centro de $img$ . $i$ , é o tamanho da seleção da íris. $di$ , é a distância do centro de $i$ ao centro da imagem. $do$ , é a distancia da câmera ao centro de $i$ . . . . .	21
Figura 9 – Representação do mapeamento de uma região de interesse, Crop, nas coordenadas $x, y$ equivalentes no modelo da íris. . . . .	21
Figura 10 – Diagrama para o cálculo do raio refletido, $re$ , em um ponto $p$ com base . . .	23
Figura 11 – Diagrama para identificação do ponto normal $p_n$ de um determinado ponto $p$ com base na linha normal $N$ desse ponto $p$ . . . . .	24
Figura 12 – Exemplo de resultado de reconstrução do componente difuso. . . . .	24
Figura 13 – Resultados de extração do componente difuso das íris direita (R, vermelho) e esquerda (L, verde) de uma imagem PG (a) e CG (b). . . . .	25
Figura 14 – Resultados (a), (c) e (e) são de imagem PG. Resultados (b), (d) e (f) são de imagem CG. . . . .	26
Figura 15 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.	27
Figura 16 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.	28
Figura 17 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.	29
Figura 18 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.	30

Figura 19 – Resultados de extração do componente difuso de uma seleção não inscrita da íris. A direita imagem CG, esquerda imagem PG. . . . .	32
Figura 20 – Resultados de extração do componente difuso de uma seleção sem foco na íris. A direita imagem CG, esquerda imagem PG. . . . .	33
Figura 21 – Resultados de extração do componente difuso de seleções em imagem desenhada (a esquerda) e imagem que não representa uma pessoa (a direita). A imagem base a esquerda é uma captura de tela da série "JoJo's Bizzare Adventure". A imagem base a direita é uma captura de tela do jogo "Oxenfree".	34



## LISTA DE SIGLAS

CG	<i>Computer Generated, imagem Gerada por Computador</i>
PG	<i>Photo Generated, imagem Gerada por Foto</i>
px	<i>Pixel(s)</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	Justificativa	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivos Específicos	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	Lei da Reflexão	12
2.2	Elipse	13
2.2.1	Pontos focais	13
2.2.2	Tangente e Normal	14
2.3	Distância de um objeto a uma lente	14
2.4	Forma da Íris	15
2.5	Pixéis	16
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
3.1	Variáveis para uso do sistema	18
3.2	Prospecção de dados manuais	18
3.3	Modelo da íris	20
3.4	Determinar a distância da câmera	20
3.5	Mapeamento do Crop no Modelo	21
3.6	Identificação da Normal no Modelo da Íris	22
3.7	Reconstrução da Componente Especular/ Reflexão	23
3.8	Reconstrução da Componente Difusa	23
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
4.1	Resultados	25
4.1.1	Todos os resultados	27
4.2	Experimentos	32
4.2.1	Seleção não inscrita	32
4.2.2	Íris não focada	33
4.2.3	Imagens não PG ou CG	34
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dados do Global Games Market Report mostram que em 2015 a indústria de jogos digitais movimentou 91.8 bilhões de dólares. Tal indústria está sempre buscando inovações e melhoramentos, de modo a atender aos anseios de seus consumidores, os quais desejam jogos com gráficos cada vez mais realistas, muitas vezes beirando à perfeição.

Assim como a indústria de jogos digitais, a indústria cinematográfica também vive sua “corrida do ouro”, na busca pela geração de conteúdo de alta qualidade, com a incorporação de técnicas capazes de gerar efeitos visuais de alta qualidade.

Essa busca incansável por qualidade, faz com que os métodos de computação gráfica (CG) utilizados na geração de pessoas, objetos e cenários digitais sejam cada vez mais robustos e precisos. Aliados ao alto poder de processamento das máquinas atuais, tais métodos chegam a produzir resultados capazes de enganar os observadores mais treinados sem grandes dificuldades.

No entanto, como apontado por HOLMES, BANKS e FARID (Holmes; Banks; Farid, 2016), uma vez que tal objetivo é alcançado, ele traz consigo grandes desafios para outras áreas da ciência como, por exemplo, discernir entre uma imagem real (aquela gerada por uma câmera fotográfica) e uma imagem gerada utilizando técnicas de computação gráfica. Tal discernimento tem grandes implicações legais, principalmente quando ligado a casos pornografia infantil. Isso porque, no Brasil, segundo a Lei 11.829, de 25 de Novembro 2008, qualquer pessoa que produzir, reproduzir, dirigir, fotografar, filmar ou registrar, por qualquer meio, cena de sexo explícito ou pornográfica, envolvendo criança ou adolescente estará sujeito a reclusão de 4 (quatro) a 8 (oito) anos, e multa. Mas, o que acontece se a mesma cena for gerada por computador? Ainda há as mesmas implicações legais?

Diferentes métodos da literatura têm sido propostos para identificar a diferença entre imagens geradas por computador e imagens reais. Apesar de mostrarem avanços, tais métodos ainda encontram-se distantes de resolver completamente o problema de identificar imagens de pessoas geradas por computador.

Neste sentido, este projeto propõe investigar inconsistências deixadas pelos algoritmos de computação gráfica na geração dos olhos de pessoas de forma a tentar encontrar diferenças entre imagens de pessoas reais e de pessoas geradas por computador.

### 1.1 Justificativa

Com os constantes avanços em computação gráfica vem se tornando cada vez mais difícil identificar se a pessoa retratada em uma imagem é de fato uma pessoa real ou se ela é simplesmente uma imagem gerada por computador.

Entretanto, em diferentes contextos, como no caso em que uma imagem é apresentada como a prova de um crime, tal fato pode tornar-se um grande problema. Aliado ao fato de que a imagem de uma pessoa totalmente gerada em computador pode ser utilizada para falsificar documentos (em falsificações do tipo composição, por exemplo), torna-se imprescindível a necessidade de se desenvolver métodos capazes de identificar de forma precisa se uma imagem trata-se de CG (Computer Generated) ou de uma foto.

Desta forma, este trabalho propõe a investigação, por meio de algoritmos computacionais, de partes da imagem que são conhecidamente difíceis de serem produzidas como os olhos.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia, focada no contexto de imagens contendo pessoas, para se diferenciar imagens geradas por métodos de CG de imagens reais (capturadas por câmeras fotográficas, PG).

### 1.2.1 Objetivos Específicos

De modo a alcançar o objetivo principal, alguns objetivos específicos a serem alcançados são:

- Realizar a reconstrução dos componentes difuso e especular da íris de uma imagem;
- Reconstruir os componentes difuso e especular de imagens PG e CG;
- Analisar os componentes reconstruídos e apontar diferenças entre resultados vindos de uma imagem PG de uma imagem CG.

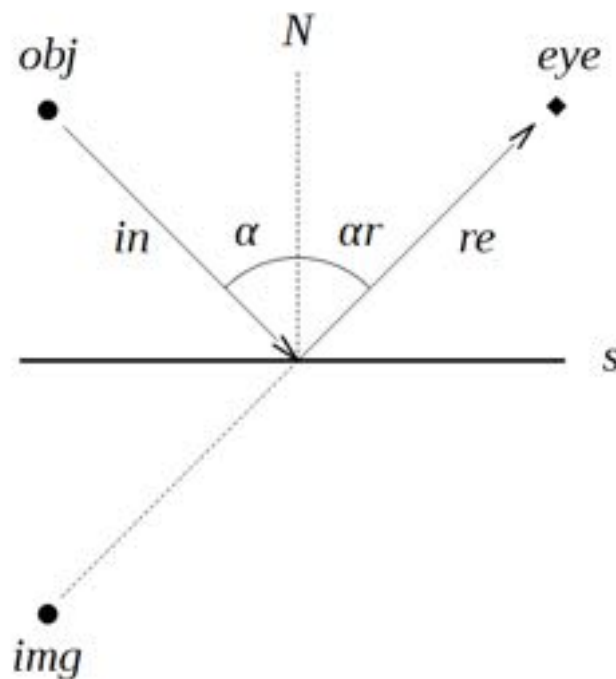
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa seção trata dos conceitos e fundamentos que foram usados nesse trabalho.

### 2.1 Lei da Reflexão

Simplificando a Lei da Reflexão (Classroom, 2017), quando um raio de luz é refletido em um espelho, o comportamento desse raio é previsível e conhecido. a Figura 1 ilustra a Lei da Reflexão.

Figura 1 – Diagrama de reflexão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

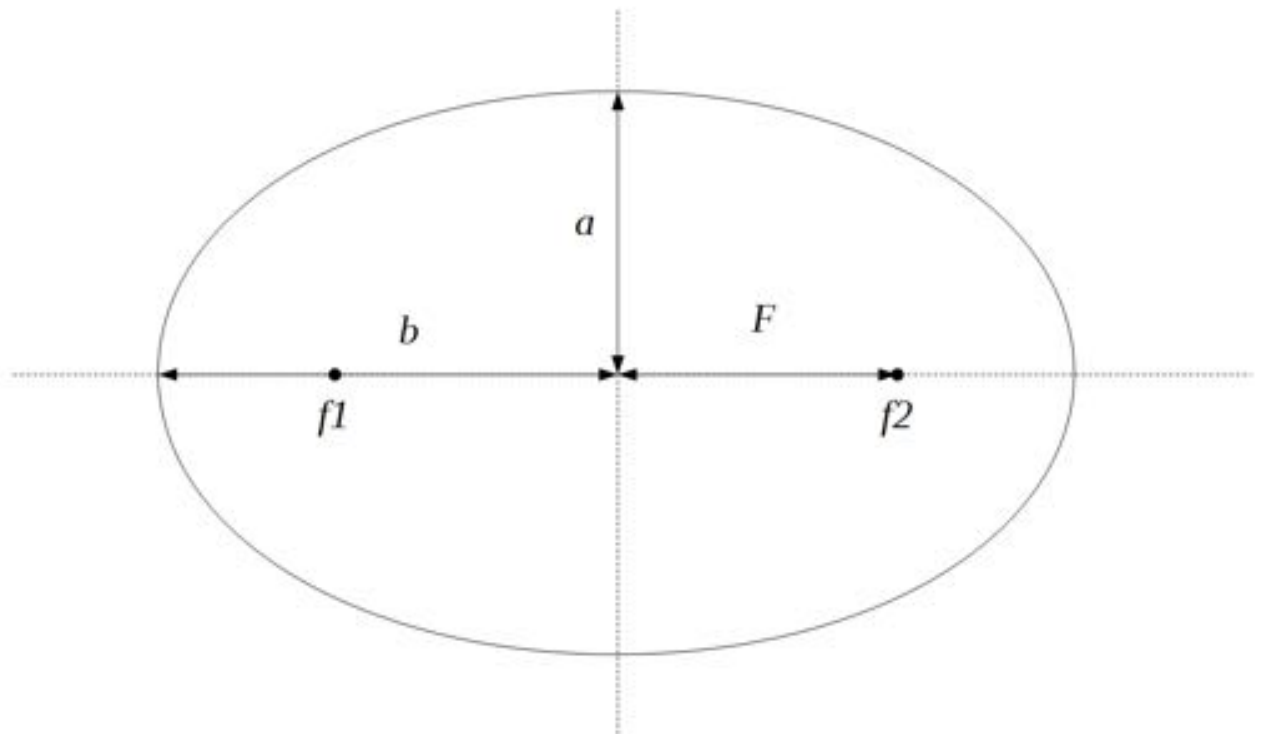
No diagrama, o raio de luz *in* que chega ao espelho *s* é conhecido como Raio Incidente. O raio de luz *re* que sai do espelho é conhecido como Raio Refletido. No ponto de incidência em que o raio *in* atinge o espelho, uma linha *N* imaginária perpendicular a superfície do espelho *s* pode ser desenhada. Essa linha *N* é conhecida como Linha Normal. *N* divide o ângulo entre *in* e *re* em dois ângulos iguais  $\alpha$  e  $\alpha r$ , sendo ângulo de incidência e ângulo de reflexão respectivamente. E conforme a Lei da Reflexão, quando um raio de luz é refletido em uma superfície, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

## 2.2 Elipse

A definição de uma elipse (Reference, 2017) é que a elipse é um locus de todos os pontos que satisfazem (2.1). Onde  $x, y$  são coordenadas de um ponto da elipse, e  $a, b$  são o raio dos eixos  $x$  e  $y$  respectivamente.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.1)$$

Figura 2 – Diagrama de uma elipse.  $a$  representa o raio maior, representado no eixo  $y$ .  $b$  representa o raio menor, representado no eixo  $x$ .  $F$  é a distancia dos pontos focais  $f_1, f_2$  ao centro da elipse.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

### 2.2.1 Pontos focais

Os pontos focais de uma elipse sempre se encontram no maior eixo separadas a cada lado do centro a uma distância igual. Se ambos os eixos da elipse são iguais, a figura é um círculo em ambos os pontos focais se encontram no centro.

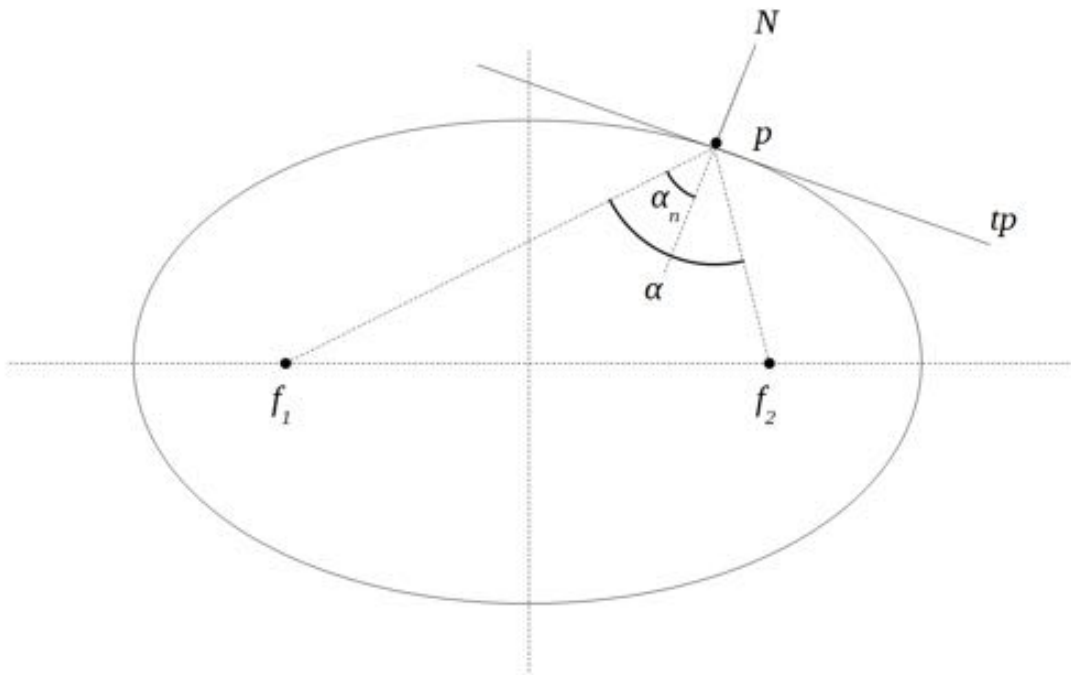
A distancia  $F$  dos pontos focais ao centro e determinada por (2.2) onde  $a$  é o maior raio e  $b$  é o menor raio da elipse. Veja na figura 2.

$$F = \sqrt{a^2 - b^2} \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Tangente e Normal

A tangente  $t_p$  de uma elipse é uma linha que toca apenas um ponto  $x, y$  da mesma curva. A linha Normal  $N$  de um ponto  $x, y$  de uma elipse é perpendicular à tangente e divide em dois ângulos  $\alpha_n$  iguais o ângulo  $\alpha$  formado pelas retas dos pontos focais  $f_1, f_2$  se cruzando no ponto  $x, y$  conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Diagrama da linha normal  $N$  e a reta tangente  $t_p$  de uma elipse em um ponto  $p$ .  $f_1, f_2$  sendo os pontos focais. O ângulo  $\alpha_n$  é usado para determinar a direção de  $N$ ,  $\alpha_n$  sendo a metade do ângulo  $\alpha$ .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O valor de  $\alpha$  é dado pela lei dos cossenos usando as distâncias  $a, b, c$  pela Equação (2.3).

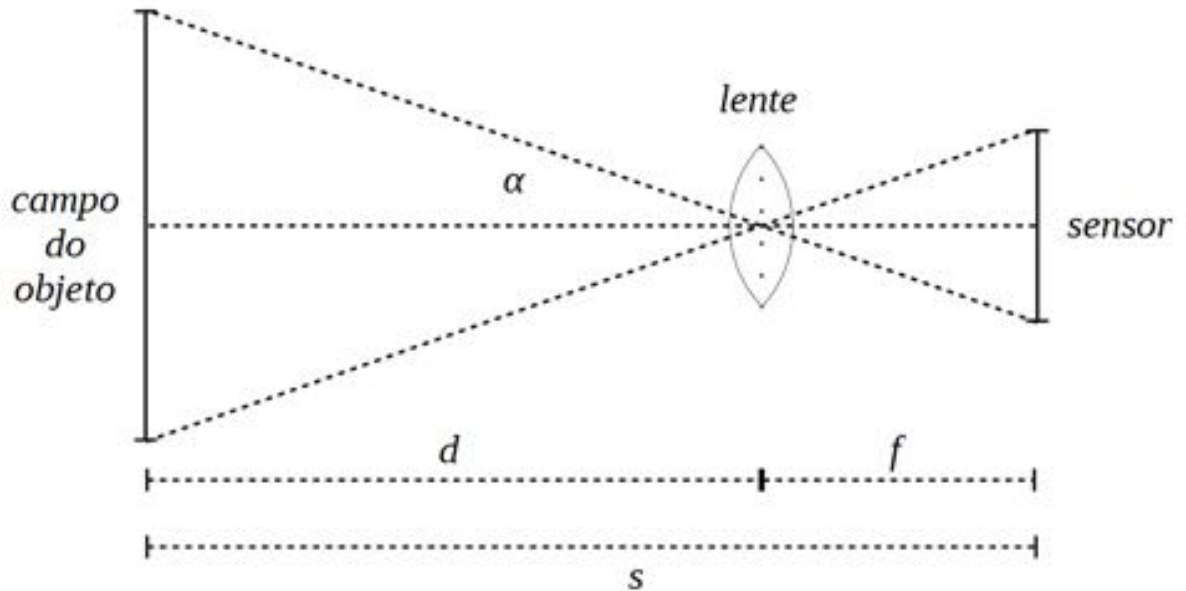
$$\alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 * b * c} \quad (2.3)$$

### 2.3 Distância de um objeto a uma lente

De uma forma simplificada (Fulton, 2017), a luz de um objeto é refratada em uma lente e incide em um sensor, formando uma imagem inversa do objeto real no sensor. Como a figura 4 mostra, um raio de luz que parte de um objeto chega ao sensor em um ângulo  $\alpha$  inverso igual à sua incidência na lente.

A equação para se obter a distância  $d$  do objeto à lente é dada em (2.4) onde  $SH$  se refere ao tamanho real do objeto, largura ou altura, e  $SHS$  se refere ao tamanho do objeto no sensor.

Figura 4 – Diagrama do comportamento da lente óptica.  $d$ , é a distancia do objeto à lente.  $f$ , é a distancia focal da lente.  $s$ , é a distancia do objeto ao sensor.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

$$d = SH * \frac{f}{SHS} \quad (2.4)$$

#### 2.4 Forma da Íris

A aparência externa do olho, como explicado pelo artigo de Nishino; Nayar, se dá principalmente pela córnea e a esclera. A córnea consiste em um colágeno de fibras que são arranjadas de forma que a estrutura é suave e transparente. Adicionalmente a córnea possui uma camada de fluido de lágrima. Isso tudo resulta na superfície da córnea se comportar similarmente a um espelho, como apontado pelo artigo por Nishino; Nayar. Por conta dessas características ao combinarmos a córnea e a câmera que a vê podemos montar o sistema de espelho e lente para poder aplicar os conceitos de reflexão, isto no artigo (Nishino; Nayar, 2004) é chamado de sistema de imagem corneal (*corneal imaging system*, CIS).

Como explicado pelo artigo de Nishino; Nayar (2004), o formato da córnea de um adulto é bem próxima ao de uma elipsóide cujos parâmetros não variam muito entre diferentes pessoas. A formula dada (Nishino; Nayar, 2004) para calcular o formato elíptico é dada em coordenadas cartesianas  $(x, y, z)$  por (2.5).

$$p * z^2 - 2R * z + r^2 = 0 \quad (2.5)$$

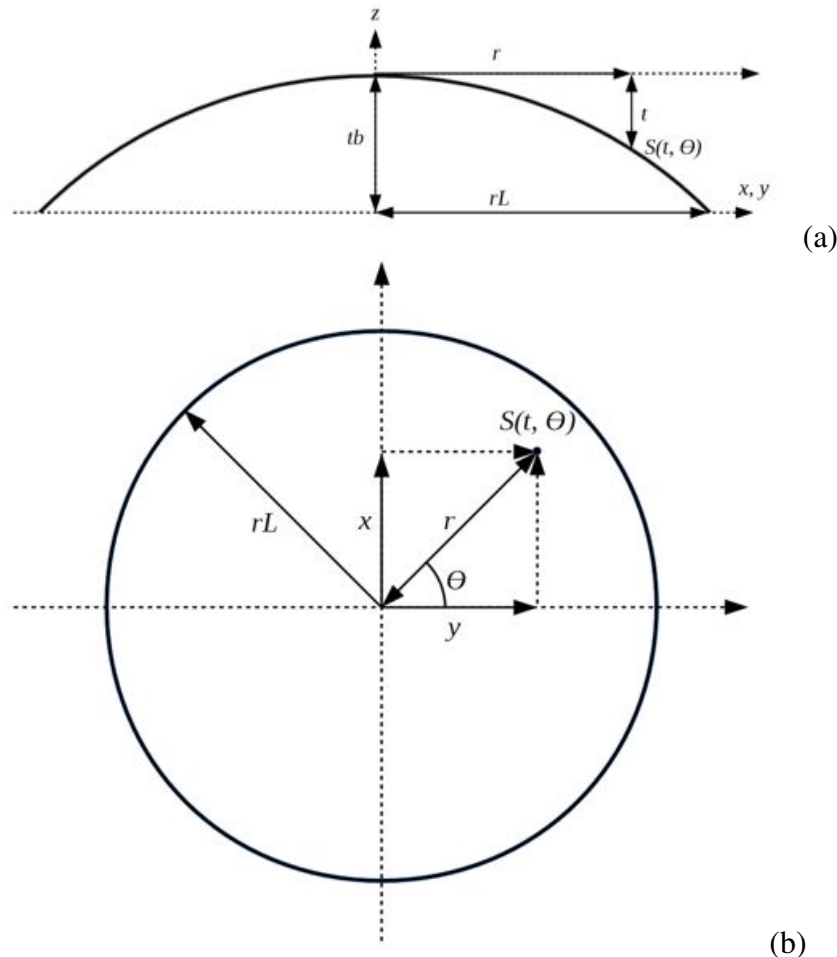


Em 2.5  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ,  $p = 1 - e^2$  onde  $e$  é a excentricidade, e  $R$  é dado pelo raio da curvatura no ápice da elipsóide. Com isso podemos descobrir cada ponto da elipse como dado pela formula também fornecida pelo artigo de Nishino; Nayar (2004) com (2.6) onde  $0 \leq \Theta \leq 2\pi$

$$S(t, \Theta) = \sqrt{-p * t^2 + 2Rt \cos \Theta}, \sqrt{-p * t^2 + 2Rt \sin \Theta}, t \quad (2.6)$$

Nishino; Nayar (2004) fornece a excentricidade média da córnea como 0.5, portanto  $p = 0.75$ , raio de curvatura  $R$  no ápice e dado com o valor de  $R = 7.8mm$  (milímetros), raio  $rL$  da circunferência das bordas visíveis da íris é  $rL = 5.5mm$ , e a maior altura  $tb$  no centro da íris como  $tb = 2.8mm$ . A Figura 5 demonstra as equações (2.5) e (2.6).

Figura 5 – Diagrama do cálculo para gerar um ponto S na superfície da córnea.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

## 2.5 Pixeis

Uma imagem digital é essencialmente um conjunto de dados armazenados em um arquivo e que podem ser interpretadas para representar seu conteúdo na tela. A imagem recriada pode ser

compreendida. Porém para ser possível aplicar os métodos propostos em uma imagem digital, nós devemos tratar cada pixel individualmente

Um pixel é o menor elemento de uma imagem Lyon (2006), contendo valores que representam cor e luminosidade de qualquer ponto específico dela. Os pixels são geralmente armazenados em mapas raster, um vetor bidimensional (fileira e coluna) e frequentemente transmitidos e armazenados de forma comprimida. O endereço em que o pixel é armazenado neste vetor corresponde a seu endereço físico, ou seja, onde a tela irá exibir os valores de cor do pixel em conjunto aos demais para formar uma imagem.

Os valores de cor armazenados em um pixel são tipicamente representados por três ou quatro componentes de intensidade, como vermelho, verde e azul (RGB - red, green, blue) ou ciano, magenta, amarelo e preto.

### 3 METODOLOGIA

Para a reconstrução dos componentes difuso e especular da íris, pelo método deste trabalho, é preciso que um usuário forneça tanto a imagem a ser analisada, como a região em que a íris está contida, com a limitação da definição de uma única íris por uso. Uma vez que o usuário fornece esses dados, e acompanhado de um modelo pré calculado da íris, o método utiliza de conceitos de reflexão para reconstruir o componente difuso e especular. Porém o método só pode ser desenvolvido até o ponto de ser capaz de reconstruir o componente difuso. Essa seção aborda em maiores detalhes cada etapa da reconstrução do componente difuso, e como a reconstrução do componente especular poderia ter sido realizada.

#### 3.1 Variáveis para uso do sistema

Para o sistema pode ser usado um conjunto de dados deve ser passado. Dentre esses dados temos dados que devem ser inseridos manualmente, e dados pré-definidos pelo sistema desenvolvido.

Os dados a serem inseridos manualmente são:

- **Imagem Base**, a imagem a ser analisada;
- **Dimensões da Imagem Base**, quantidade de pixels na largura e altura da Imagem Base;
- **Região de interesse**, área com posição na Imagem Base e dimensões em pixels;
- **Orientação da íris**, ângulo da orientação da íris (onde está olhando) em comparação à câmera, em que 0 a íris está orientada diretamente para a câmera.

Os dados pré definidos no sistema são:

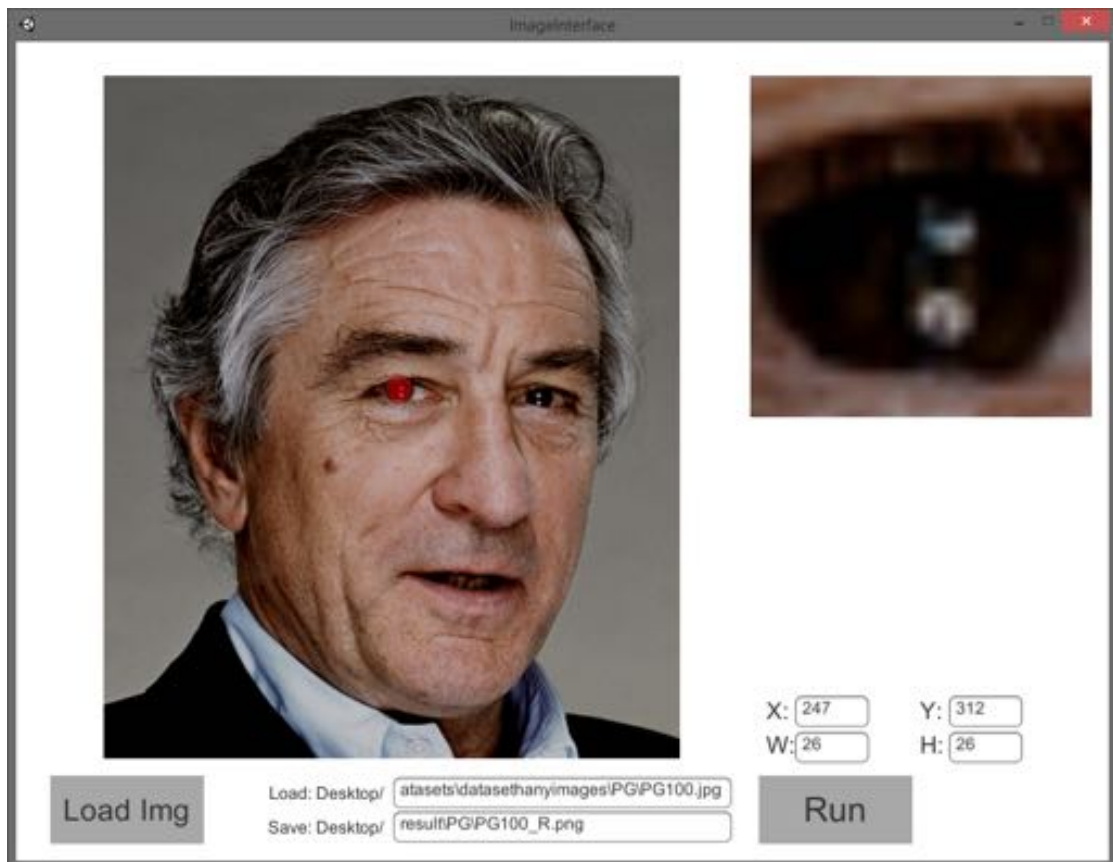
- **Modelo da íris**, um modelo 3D que representa a superfície da córnea da íris

#### 3.2 Passagem de dados manuais

Para facilitar a passagem dos dados manuais foi desenvolvida uma interface em Unity 3D. Essa interface permite que um usuário informe a Imagem Base (automaticamente armazenado as Dimensões da Imagem base) e defina a Região de interesse nessa imagem. A orientação da íris também é definida com a ferramenta de seleção de região de interesse.

A seleção da íris deve ser inscrita no seletor, ou seja, a íris deve preencher totalmente a ferramenta de seleção como demonstra a Figura (6).

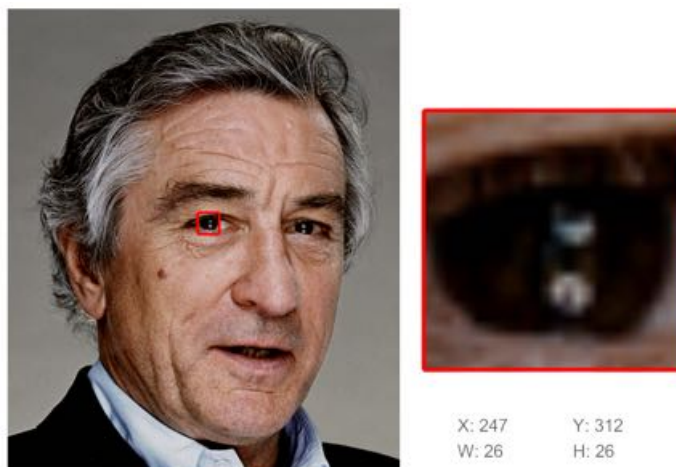
Figura 6 – Exemplo de uso da interface. O campo Load contém o caminho da imagem analisada. O campo Save contém o caminho em que o resultado será armazenado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A interface demonstrada na Figura (6) foi desenvolvida com Unity 3D, para definição manual da posição de uma íris pelo usuário. Permite carregar uma imagem para ser analisada, em que o usuário define uma região de interesse que para o uso devido do algoritmo deve ser apenas a definição da íris. Enfim o Crop da Região de interesse, é uma imagem igual a um "recorte" da imagem base que é igual a todos os pixels contidos na Região de interesse como demonstra a Figura (7).

Figura 7 – Exemplo do recorte da Região de interesse, vermelha, em uma imagem base.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

### 3.3 Modelo da íris

O modelo da íris consiste em um conjunto de pontos cartesianos  $x, y, z$ . Usando as equações (2.5) e (2.6) para o cálculo da Forma da Íris passamos os valores absolutos de  $x, y$ , que são contidos no raio da base da Forma da Íris em  $5.5mm$ , recebemos o valor de  $z$  para o determinado ponto  $x, y$ , bastando então armazená-los no conjunto. Para construir o modelo é preciso repetir o cálculo da Forma da Íris para todas as coordenadas  $x, y$ .

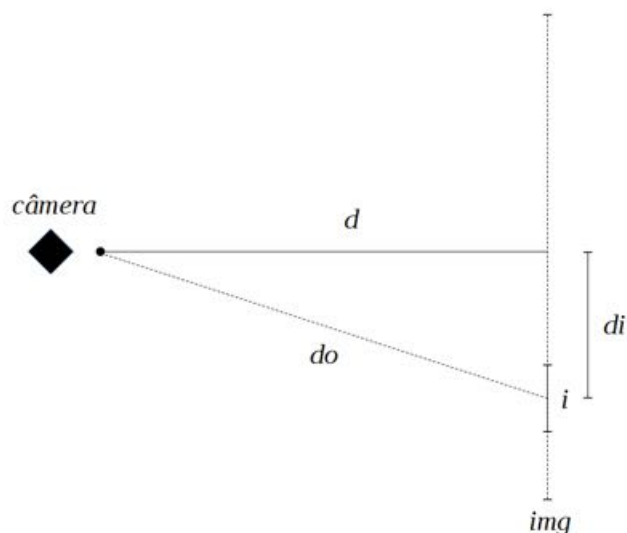
### 3.4 Determinar a distância da câmera

A posição da câmera é calculada com o uso da fórmula de distância de objeto à lente para se obter a distância  $do$  da câmera à íris.

Assumindo que as posições  $x, y$  da câmera são iguais ao centro da imagem, a posição  $z$  se torna a distância  $d$  da câmera ao centro da imagem base, como demonstrado na Figura 8. A Equação (2.4) fornece a distância  $do$  da câmera ao objeto, a distância  $di$  é igual a distância do centro da imagem base ao centro da região de interesse. Juntando  $do, di$  e  $d$  podemos desenhar um triângulo como visto na Figura 8, por tanto podemos calcular  $d$  com a Equação (3.1)

$$d = \sqrt{do^2 - di^2} \quad (3.1)$$

Figura 8 – Diagrama para o cálculo de Distância da Câmera.  $img$ , é o tamanho da imagem.  $d$ , é a distância da câmera ao centro de  $img$ .  $i$ , é o tamanho da seleção da íris.  $di$ , é a distância do centro de  $i$  ao centro da imagem.  $do$ , é a distancia da câmera ao centro de  $i$ .

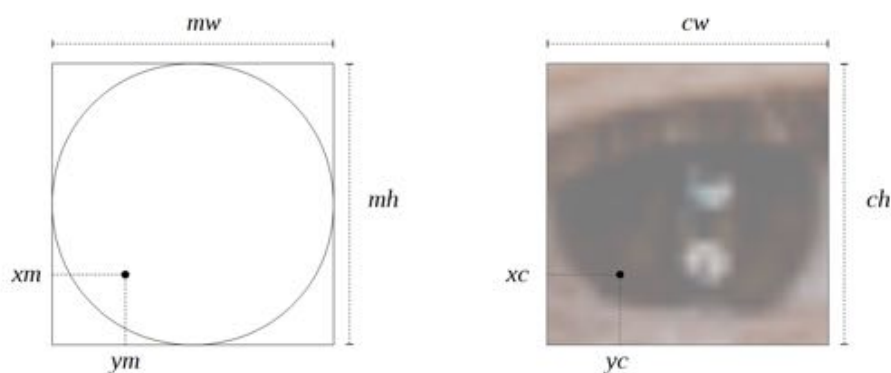


Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

### 3.5 Mapeamento do Crop no Modelo

O mapeamento do recorte da região da íris (Crop) no Modelo da íris, é a identificação de qual pixel do Crop representa um ponto  $x, y$  no modelo.

Figura 9 – Representação do mapeamento de uma região de interesse, Crop, nas coordenadas  $x, y$  equivalentes no modelo da íris.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como representado na Figura 9 essa identificação é dada com um simples calculo de conversão de valores presumindo que a seleção é uma íris inscrita, no qual o raio  $r$  é de  $5.5mm$ ,  $mw$  e  $mh$  são, respectivamente largura e altura do modelo,  $cw$  e  $ch$  são, respectivamente, largura e altura do recorte,  $xm, ym$  são um ponto  $x, y$  no modelo e  $xc, yc$  são um ponto  $x, y$  (referente a um pixel) no recorte. A Equação (3.2) demonstra a identificação sendo que  $mw = 2 * r$  e  $mh = 2 * r$ .

$$\begin{aligned}xc &= xm * coefH \\yc &= ym * coefW \\coefW &= \frac{cw}{mw} \\coefH &= \frac{ch}{mh}\end{aligned}\tag{3.2}$$

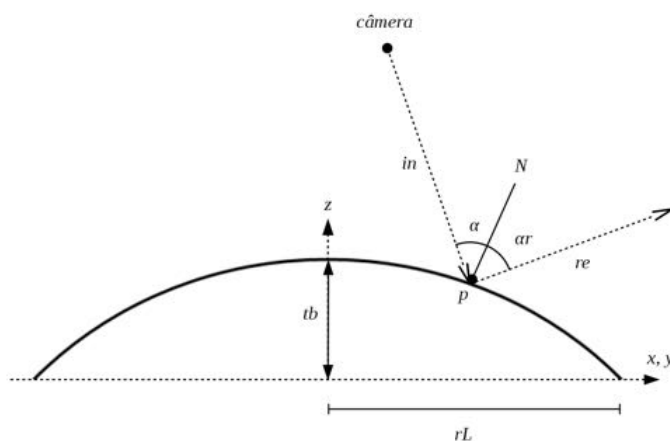
### 3.6 Identificação da Normal no Modelo da Iris

Como o modelo da iris é uma forma elíptica conhecida, podemos usar os conceitos de elipse vistos na Seção 2.2.2 para obter a normal de um determinado ponto  $x, y, z$  do modelo sabendo que a distância  $F$  dos pontos focais da elipse da íris é  $F = 13.51$ .

### 3.7 Reconstrução do Componente Especular/ Reflexão

A reconstrução de cada pixel da reflexão é dado pela deformação de um pixel mapeado da região de interesse conforme o raio incidente calculado com a normal, posição do ponto respectivo e posição da câmera como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Diagrama para o cálculo do raio refletido,  $re$ , em um ponto  $p$  com base .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Conforme a explicação de Nishino; Nayar (2004), sabendo o raio incidente  $in$  e o raio refletido  $re$ , posição  $S$ , a linha normal  $N$  e os ângulos  $\alpha$ ,  $\alpha_r$  formados entre  $in$  e  $re$  com  $N$ , em que o pixel mapeado é deformado conforme esses valores.

### 3.8 Reconstrução do Componente Difuso

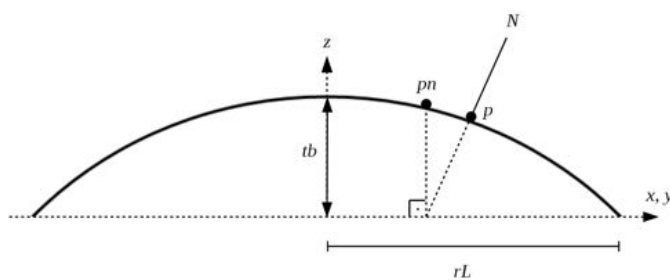
A reconstrução do componente difuso é realizada com base em uma modificação no processo para obter-se o componente especular em conjunto a um processo de refinamento de reflexão próprio dos autores. Esse processo foi desenvolvido para melhorar o resultado de reflexões geradas em tempo real, definindo um outro ponto difuso, que não seja o sendo calculado, para o cálculo de reflexão. Essa reconstrução gera um resultado que pode ser chamado, neste trabalho, de componente difuso dado suas características como pode ser visto na Figura 12.

Para cada ponto do modelo da íris utiliza-se a normal respectiva desse ponto, o pixel mapeado do Crop e a imagem do Crop da região de interesse a fim de construir uma imagem que para esse trabalho está sendo referida como componente Difuso.

Usando os valores da Normal podemos obter um segundo ponto no modelo, o ponto relativo à Normal  $p_n$ , como demonstra a Figura 11 traçando uma reta a partir de  $N$  até a base do modelo (onde  $z = 0$ ) e com as coordenadas  $x_n$  e  $y_n$  dessa intersecção identificar o ponto  $p_n$ .



Figura 11 – Diagrama para identificação do ponto normal  $p_n$  de um determinado ponto  $p$  com base na linha normal  $N$  desse ponto  $p$ .



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Com  $p_n$ , podemos identificar um segundo pixel mapeado do Crop. Combinando o pixel mapeado ao ponto relativo à Normal e o pixel mapeado ao ponto analisado, obtemos um pixel Difuso. Repetindo esse processo em cada ponto  $x, y, z$  do Modelo podemos reconstruir em uma imagem o componente difuso, conforme a figura 12.

Figura 12 – Exemplo de resultado de reconstrução do componente difuso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

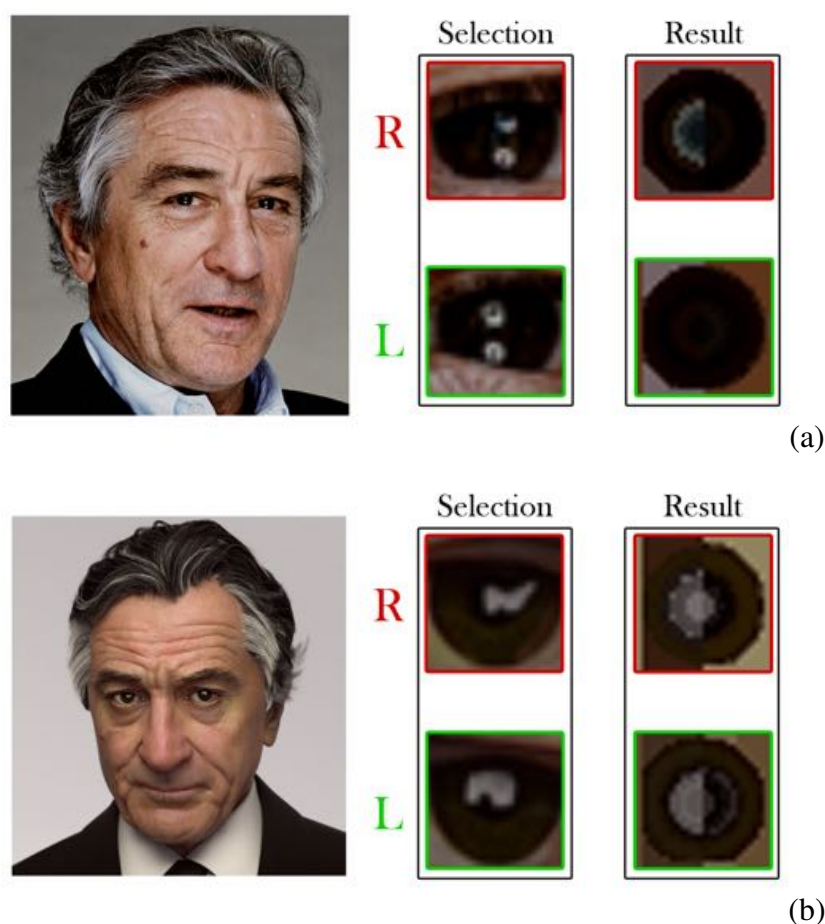
## 4 RESULTADOS

O sistema desenvolvido neste trabalho reconstrói o equivalente ao componente difuso de uma íris de uma imagem, o qual pode ser usado na tentativa de diferenciar imagens CG de PG.

### 4.1 Resultados

Os resultados obtidos formam um conjunto de imagens geradas com a reconstrução do componente difuso aplicado em um conjunto de imagens PG e CG.

Figura 13 – Resultados de extração do componente difuso das íris direita (R, vermelho) e esquerda (L, verde) de uma imagem PG (a) e CG (b).



Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

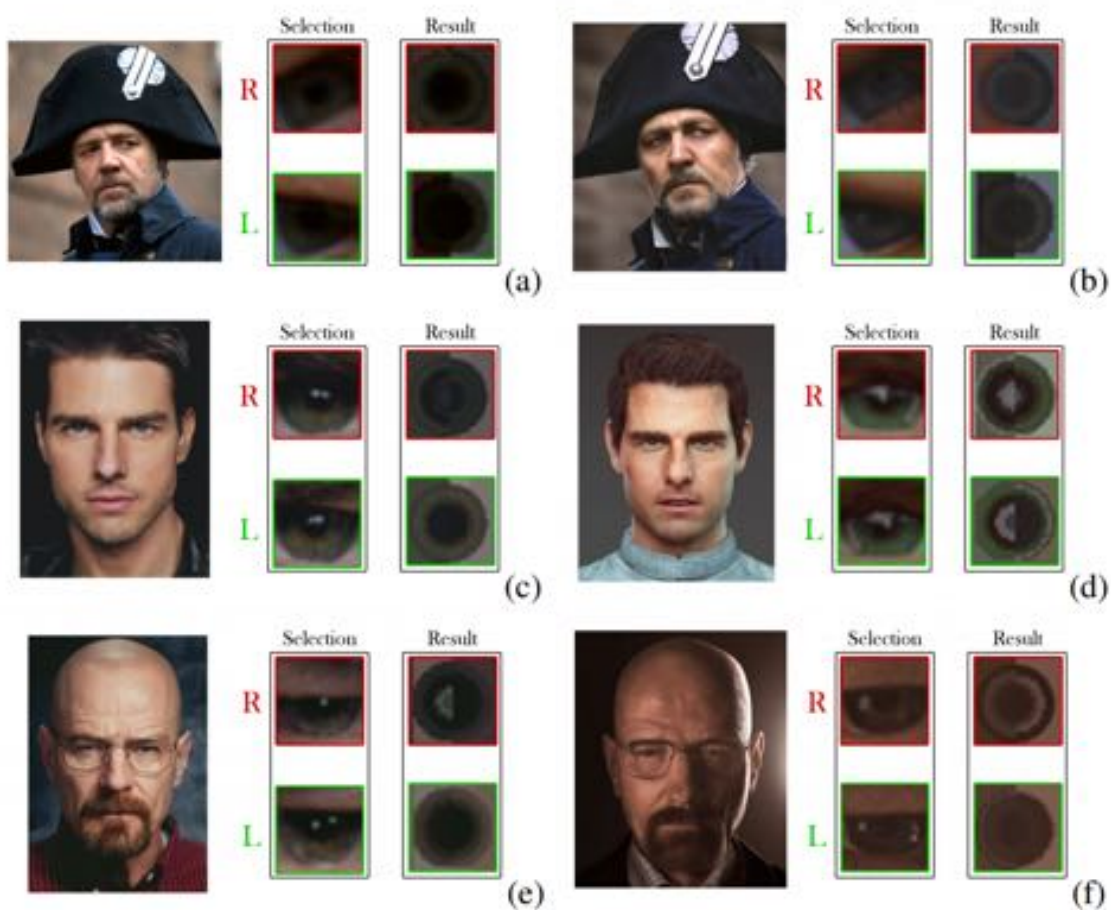
Como visto nos resultados exemplificados na Figura (13), o componente difuso de uma imagem tem como característica principal uma região circular que se refere a íris. O que não é contido desse padrão circular pode ser considerado "lixo", mas tende a ter duas cores em cada lado.

Quanto ao difuso de uma imagem PG, sua região circular tende a ter pouca variação de cor, principalmente em olhos escuros. Quando apresenta brilho, este tende a ser uma cor mais

clara do padrão predominante e não chega a ser completamente branco.

Quanto ao difuso de imagem CG, sua região circular tende a ter variações mais evidentes. Apresenta brilho com mais frequência, o brilho sendo geralmente quase branco. Padrões irregulares ocorrem com mais frequência.

Figura 14 – Resultados (a), (c) e (e) são de imagem PG. Resultados (b), (d) e (f) são de imagem CG.



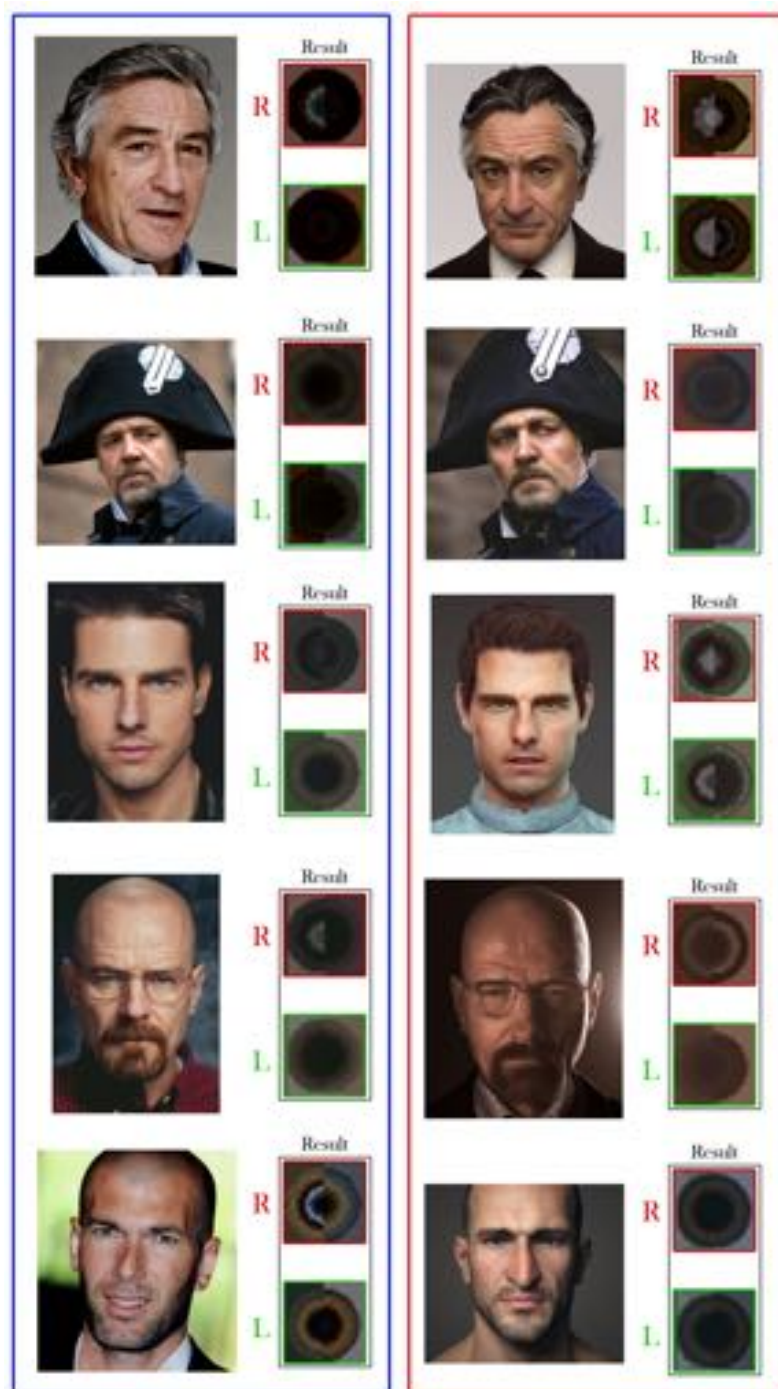
Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

A Figura 14 demonstra resultados da extração do componente difuso e o Crop da região de interesse.

#### 4.1.1 Todos os resultados.

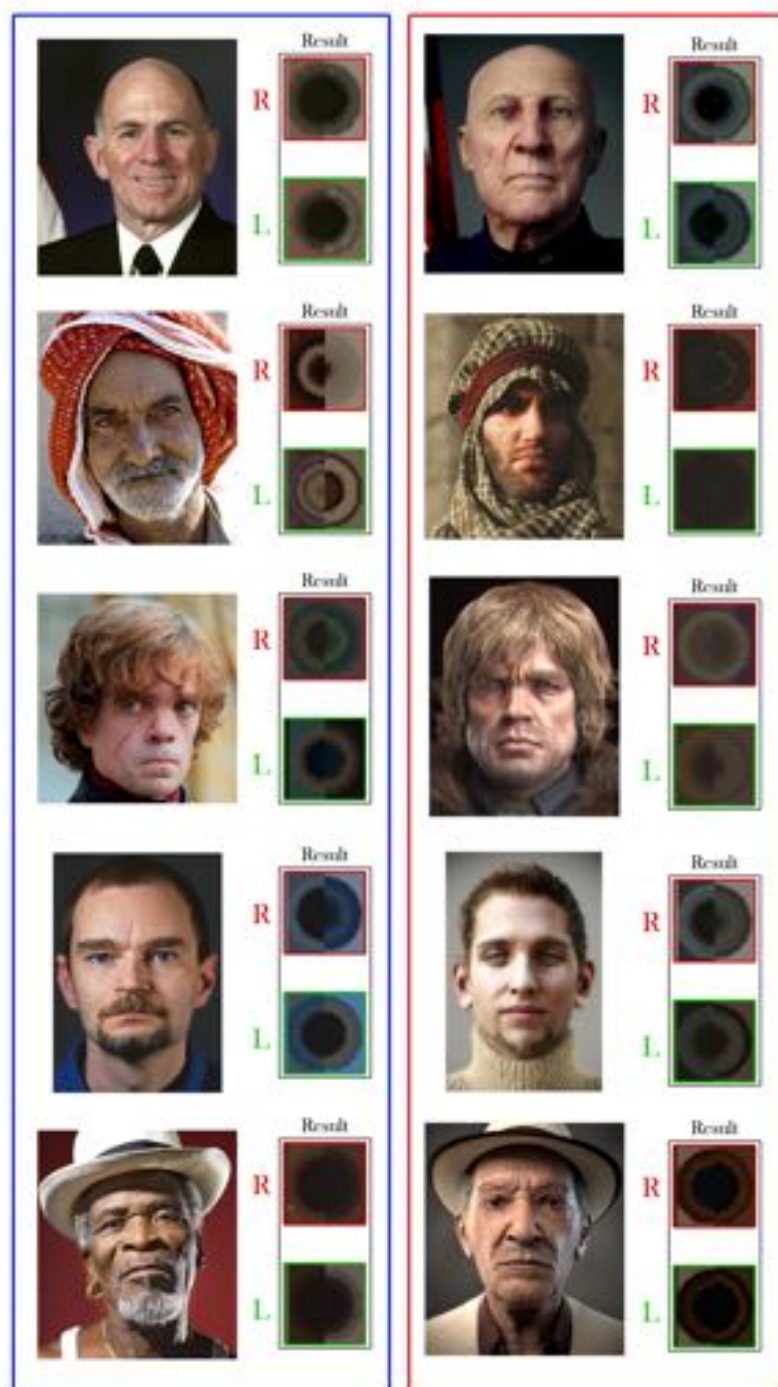
As Figuras 15, 16, 17 e 18 mostram todos os resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 40 imagens, 20 PG (bloco azul) e 20 CG (bloco vermelho).

Figura 15 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.



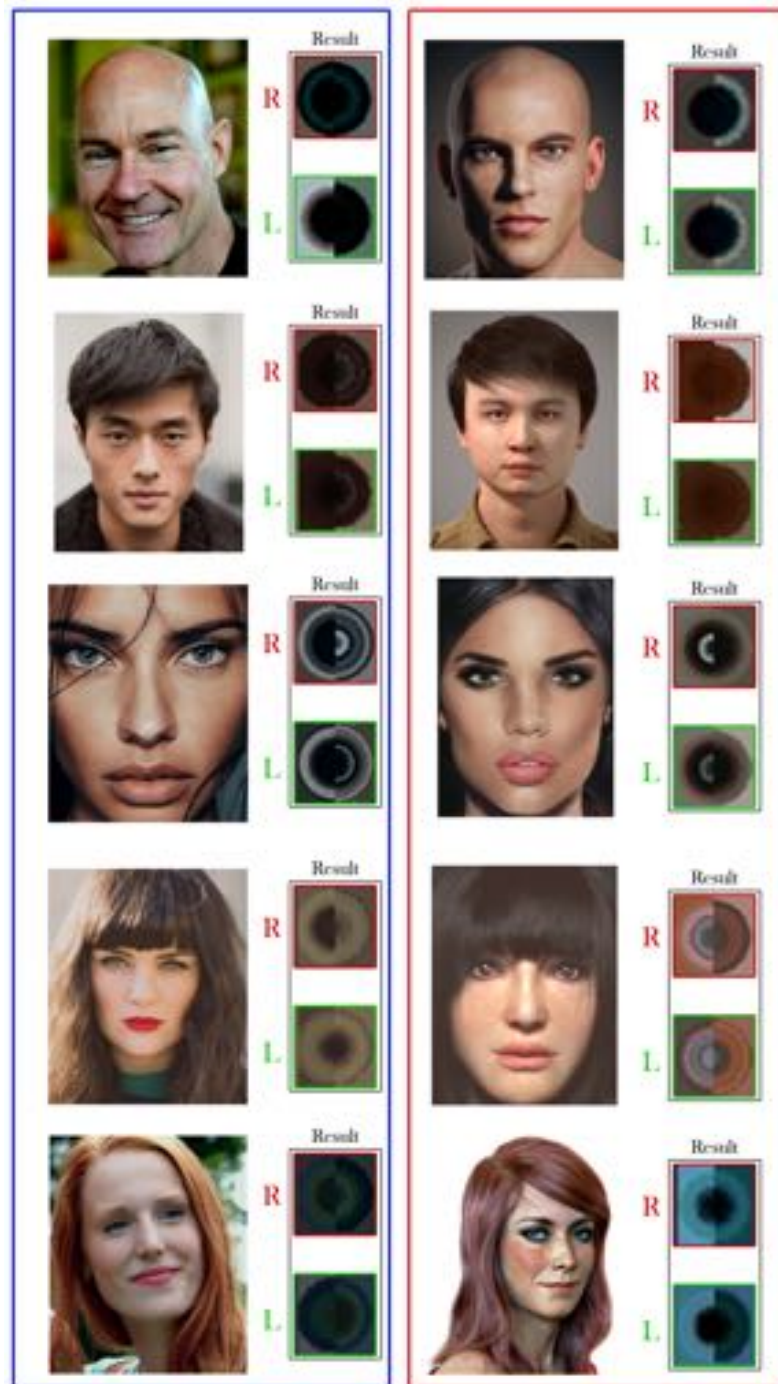
Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

Figura 16 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.



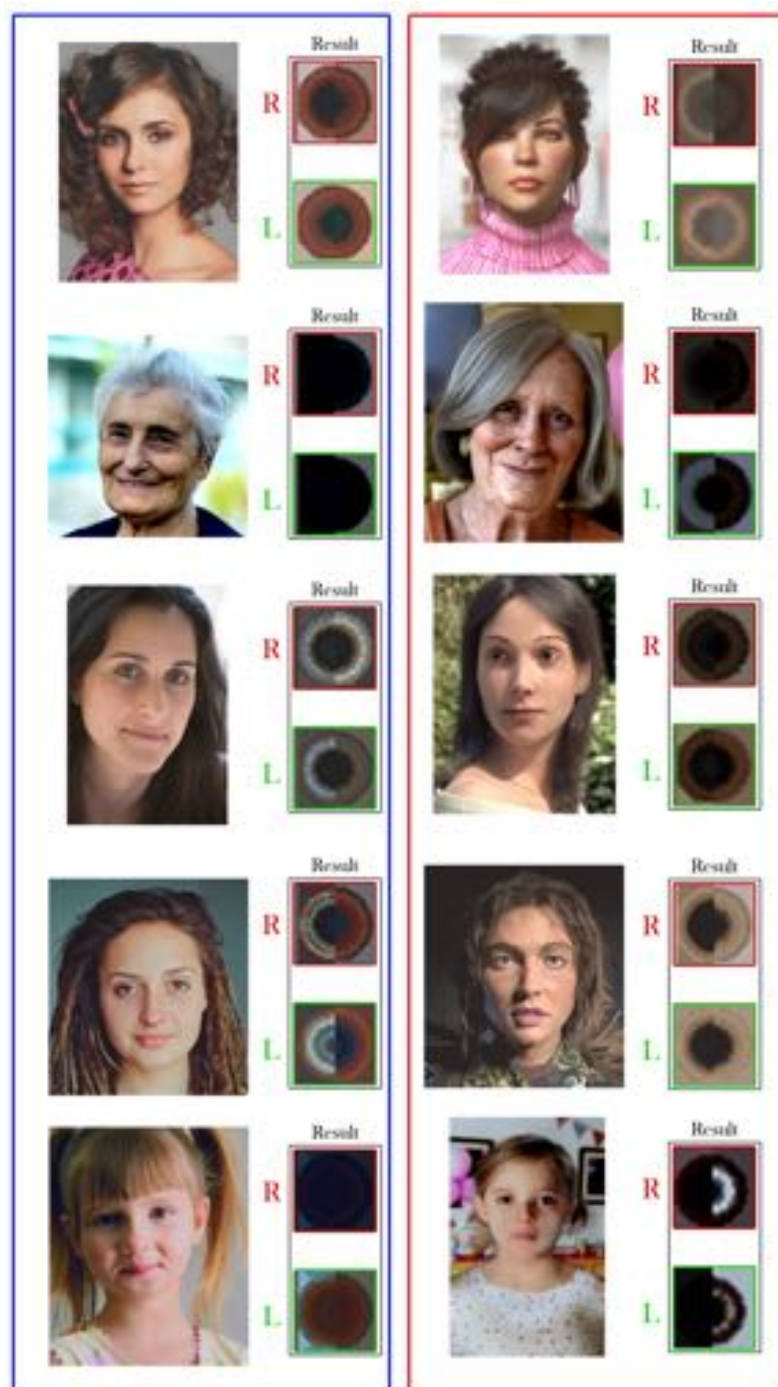
Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

Figura 17 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.



Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

Figura 18 – Resultados de extração do componente difuso de um conjunto de 10 imagens, bloco azul extração de imagem PG, bloco vermelho extração de imagem CG.



Fonte: Adaptado de Holmes; Banks; Farid (2016)

Como pode ser visto nos resultados, tanto o resultado de imagem PG e CG geram brilho, porém em resultados de imagem CG, o brilho (caracterizado por uma meia circunferência clara ou de coloração distinta do predominante na reconstrução) é mais constante do que em resultados de PG.

Uma característica que não é imediatamente perceptível como o brilho, é a tendência de resultados de imagem CG terem uma circunferência de coloração diferente ao geral, variando de

diferenciação sutil a uma diferenciação drástica e duas ou mais colorações diferentes ao todo. Não é exclusivo a resultado CG, mas é mais constante do que em PG.

Porém as características de brilho e diferenças em coloração drásticas não garantem a diferenciação de imagem PG e CG, principalmente em imagens com muita iluminação, mas são diferenças suficientemente notáveis que podem ser usadas para realizar a distinção.



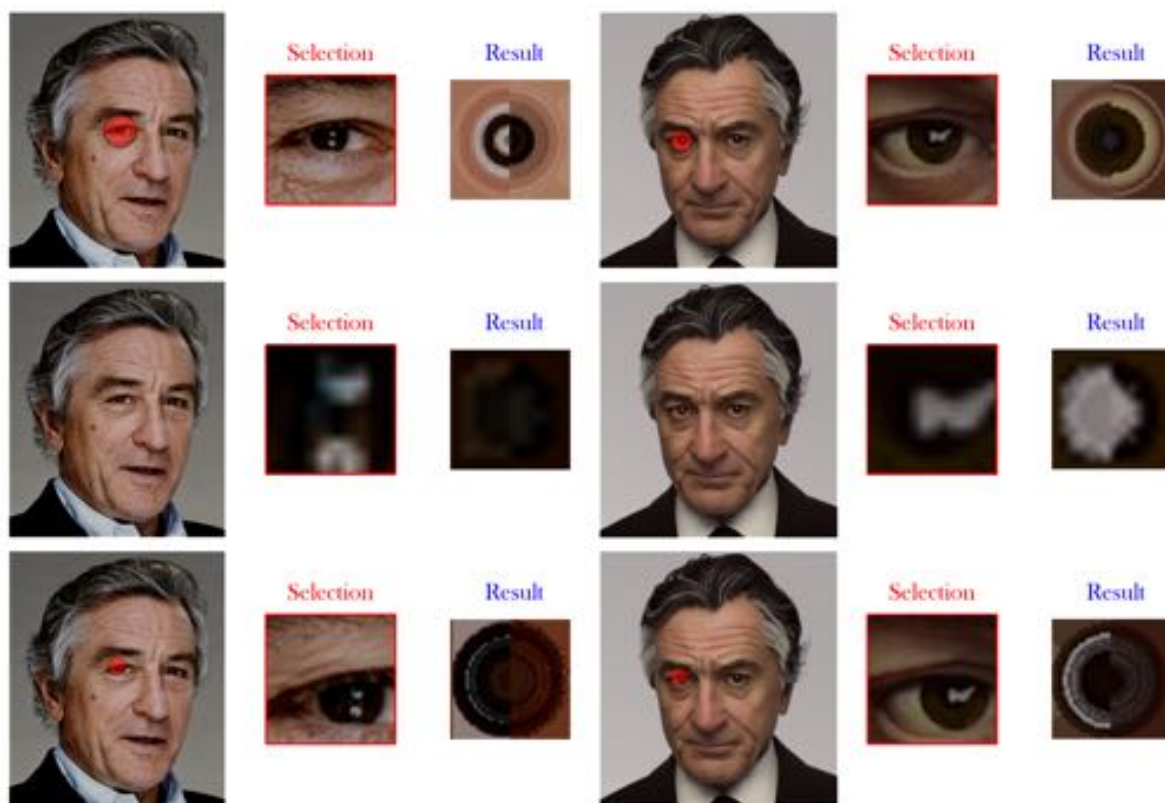
## 4.2 Experimentos

Os resultados obtidos vêm do uso do sistema com seleção inscrita da íris usando imagens PG, e imagens CG de alta qualidade. Os experimentos a seguir demonstram resultados vindos seleções e imagens base diferentes do esperado.

### 4.2.1 Seleção não inscrita.

A fim de ver a diferenciação de resultados com íris não inscrita na seleção e como ela difere do uso esperado, esse experimento realiza seleções de íris não inscrita. A Figura 19 mostra os resultados obtidos a não realizar a seleção da íris inscrita na região de interesse.

Figura 19 – Resultados de extração do componente difuso de uma seleção não inscrita da íris. A direita imagem CG, esquerda imagem PG.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como pode ser visto nos resultados da Figura 19 acontece a mesclagem da coloração com a pele e esclera. Se a íris está centralizada, um resultado similar ao seleção inscrita pode ser visto, caso não esteja centralizada, o resultado é imprevisível resultando em cores que não aparentam ser naturais. Quando a seleção é menor que a íris, e contida na mesma, o resultado não condiz com o equivalente a apenas aproxima-se ao centro, novamente causando resultados imprevisíveis e aparentemente sem padrão. Por tanto, a fim de se realizar uma reconstrução do componente difuso da íris com padrões que podem ser identificados e que podem diferenciar PG de CG, a seleção inscrita é necessária.

#### 4.2.2 Íris não focada.

Em conjunto ao experimento de íris não inscrita, este experimento procura ver o quão drástico é o resultado de uma seleção em que a íris não é o foco da seleção ou presente na mesma. A figura 20 mostra os resultados obtidos ao se selecionar outros elementos da imagem, contendo ou não a íris.

Figura 20 – Resultados de extração do componente difuso de uma seleção sem foco na íris. A direita imagem CG, esquerda imagem PG.



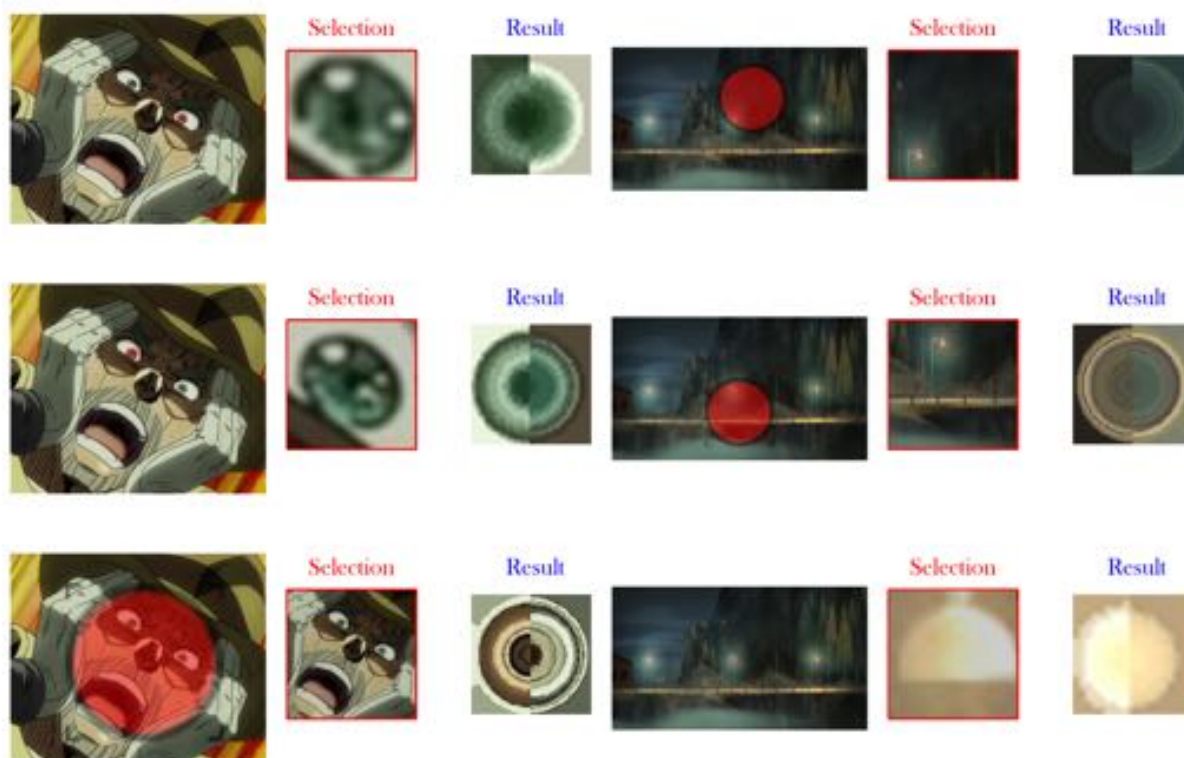
Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como esperado, os resultados obtidos deste experimento mostram uma drástica diferença em comparação à seleção inscrita, claramente tendo falta de todas as características das seleções inscritas.

### 4.2.3 Imagens não PG ou CG.

Seguindo a ideia de verificar resultados de seleções que não sejam de uma íris inscrita, este experimento procura ver exemplos de resultados de seleções em imagens que não representam uma pessoa realista, ou simplesmente nenhuma pessoa, usando imagens desenhadas a mão ou ambientes estilizados. A figura 21 mostra resultados obtidos ao se usar como imagens base desenhos manuais e imagens que não representam pessoas (e que não contêm íris).

Figura 21 – Resultados de extração do componente difuso de seleções em imagem desenhada (a esquerda) e imagem que não representa uma pessoa (a direita). A imagem base a esquerda é uma captura de tela da série "JoJo's Bizzare Adventure". A imagem base a direita é uma captura de tela do jogo "Oxenfree".



Fonte: Adaptado de Oxenfree (2015) e JoJo's Bizzare Adventure: Stardust Cruzaders (2015)

Este experimento, apesar de não ser muito relevante ao trabalho, mostrou um resultado interessante, em que a seleção da íris inscrita em uma imagem desenhada apresenta características mais exageradas de resultado de imagem CG, porém apenas em alguns casos.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Esse projeto desenvolveu um método para realizar a extração de um equivalente ao componente difuso da íris. Apesar do objetivo inicial em extrair o componente especular não ter sido alcançado, os resultados da extração do componente difuso atendem o objetivo principal de verificar e analisar um método para diferenciar uma imagem, que represente uma pessoa, de PG e CG dado às características identificadas em resultados com uma base de imagens de CG e PG. Os experimentos realizados demonstram a importância da seleção inscrita da íris para o método, pois caso contrário não é notado um padrão aparente. Ao longo deste trabalho foram estudadas características específicas da íris e como isso poderia ser usado em conjunto a conceitos de reflexão para diferenciar uma íris feita em CG de PG. Para expansão do método desenvolvido, é necessária a reconstrução do componente especular, e análise dos resultados. Dentre trabalhos futuros que podem ser realizados com o método desenvolvido, é possível usar seus resultados em um sistema de aprendizado de máquina que, provavelmente, seria capaz de diferenciar resultados de imagens CG e PG deste método. Portanto, conforme os resultados obtidos é possível concluir que pela análise do componente difuso da íris se pode diferenciar uma imagem PG de uma imagem CG.

## REFERÊNCIAS

CLASSROOM the Physics. **The Law of Reflection**. 2017. <http://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-1/The-Law-of-Reflection>. [Online; accessed 12-11-2017].

FULTON, Wayne. **Calculate Distance or Size of an Object in a photo image**. 2017. <https://www.scantips.com/lights/subjectdistance.html>. [Online; accessed 12-11-2017].

HOLMES, Olivia; BANKS, Martin S.; FARID, Hany. Assessing and improving the identification of computer generated portraits. **ACM Transactions on Applied Perception (TAP)**, v. 13, n. 2, p. 7, 2016.

LYON, Richard F. A brief history of 'pixel'. **Proc. SPIE 6069, Digital Photography II, 606901**, v. 6069, p. 16, 2006.

NISHINO, Ko; NAYAR, Shree K. Eyes for relighting. **Department of Computer Science, Columbia University**, v. 23, n. 3, p. 704–711, 2004.

REFERENCE, Math Open. **General Equation of an Ellipse**. 2017. <https://www.mathopenref.com/coordgeneralellipse.html>. [Online; accessed 12-11-2017].