



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO POLITÉCNICO – IPRJ

Pós-Graduação em Modelagem Computacional

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA BIOMÉTRICO PARA A
IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DA ÍRIS.**

Eduardo Córner Watson

Nova Friburgo, RJ - Brasil.

Outubro de 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

... Ora, não percebeis que com os olhos alcançais toda a beleza do mundo? O olho é o senhor da astronomia e o autor da cosmografia; ele desvenda e corrige toda a arte da humanidade; conduz o homem as partes mais distantes do mundo; é o príncipe da matemática, e as ciências que o tem por fundamento são perfeitamente corretas.

O olho mede a distância e o tamanho das estrelas; encontra os elementos e suas localizações; ele... deu origem a arquitetura, a perspectiva, e a divina arte da pintura.

...Que povos, que línguas poderão descrever completamente sua função! O olho é a janela do corpo humano pela qual ele abre os caminhos e se deleita com a beleza do mundo.

LEONARDO DA VINCI 1452-1519

Agradeço à minha família, meus orientadores, professores e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Resumo

Desenvolveu-se neste trabalho um novo sistema biométrico de identificação por padrões de íris, de maior simplicidade de funcionamento e, portanto, mais robusto computacionalmente do que os demais atualmente disponíveis na literatura. No início da fase de segmentação, onde normalmente outros sistemas aplicam a transformada de Hough como o algoritmo para localizar a circunferência que margeia a pupila, substitui-se este pelo simples conceito físico de centro de massa, aumentando assim enormemente a eficiência computacional. Desta forma, o algoritmo aqui desenvolvido para localização da margem da pupila em uma imagem de olho é facilmente realizado procurando-se pelo centro de massa de uma superfície homogênea que a pupila em si representa. Em seguida, são lidos os valores dos pixels pertencentes a uma região da íris de 45 x 45 pixels, e seus valores são alocados em uma pequena matriz então utilizada como padrão do indivíduo. Finalmente, na etapa de identificação, o sistema se vale do coeficiente de correlação estatística como ferramenta na verificação do grau de equivalência entre padrões, podendo assim inferir um resultado de aceitação ou rejeição, dado um critério pré-estabelecido. A rotina computacional foi implementada na linguagem C++, e os testes realizados confirmam a viabilidade do sistema, mesmo através da utilização de padrões gerados a partir de pequenas partições da íris, que aqui puderam ser aproveitadas com sucesso.

Palavras chaves: Biometria, Reconhecimento de íris, Centro de massa, Correlação, Identificação.

Abstract

This study has developed a new biometric system for identification of iris patterns, of greater simplicity and, therefore, more robust computationally than the others currently available in the literature. In the beginning of the segmentation stage, where usually other systems apply the Hough transform as the algorithm to locate the circumference that margins the pupil, the simple physical concept of the center of mass substitutes it, thus increasing vastly the computational efficiency. Because of that, the algorithm developed here to locate the margins of the pupil in an eye image can be easily performed by searching the center of mass of a homogeneous surface that the pupil itself represents. Next, the values of the pixels that belong to an area of the iris of 45 x 45 pixels are read, and their values are allocated into a small matrix then used as the person's pattern. Finally, in the identification stage, the system employs the statistical correlation coefficient as the tool to verify the degree of equivalence between patterns, so that it is able to infer an acceptance or a rejection result, given a pre-established criterion. The computational routine was implemented in the C++ language, and the tests carried out confirm the viability of the methods, even with the use of patterns generated from small partitions of the iris, which could be utilized with success here.

Keywords: *Biometric, Iris Recognition, Center of Mass, Correlation, Identification.*

Lista de figuras

Figura 1 – (a até n) Exemplos de características biométricas.	6
Figura 2 – (a até h) Exemplos de aplicações biométricas.	10
Figura 3 – (a, b) Dois aparelhos de reconhecimento de íris da Panasonic.	12
Figura 4 – Vista de um corte do olho humano.	14
Figura 5 – Corte de olho humano, mostrando formação da imagem na retina.	15
Figura 6 – Diafragma de uma máquina fotográfica, mostrando diversas aberturas.	16
Figura 7 – Um corte e uma vista frontal, de um olho humano.	17
Figura 8 – (a, b) Exemplo padrões de íris humanas.	17
Figura 9 – Variação do diâmetro da pupila como função da luminância.	18
Figura 10 – (a, b) Anatomia da íris humana.	19
Figura 11 – As cinco fases de desenvolvimento de um sistema biométrico.	21
Figura 12 – (a até d) Exemplos de imagens de olhos (reduzidas),	22
Figura 13 – Circunferências (não concêntricas),	23
Figura 14 - Panorama de decisões:	28
Figura 15 – Exemplo de imagem do banco de íris da CASIA.	30
Figura 16 – Coordenadas do centro da pupila, são iguais as do centro de massa.	31
Figura 17 – Centro geométrico da pupila à esquerda do centro de massa.	33
Figura 18 - Centro geométrico da pupila abaixo do centro de massa.	33
Figura 19 – Em destaque a nova área a ser varrida na procura do centro de massa.	34
Figura 20 – Novo resultado na procura do centro de massa.	35
Figura 21 – Em destaque nova área a ser varrida à procura do centro de massa.	35
Figura 22 – Novo resultado, centro de massa igual ao centro geométrico da pupila.	36
Figura 23 – Fluxograma do algoritmo para encontrar o centro geométrico da pupila.	37
Figura 24 – (a, b, c) Nas figuras, pode-se ver que método é invariante	38
Figura 25 – Em tom mais escuro o pedaço íris que é lido na segmentação.	39
Figura 26 – Lê pixels em circunferências concêntricas, para ler uma seção da íris.	40
Figura 27 – Seção da íris, que é lida por circunferências concêntricas.	41
Figura 28 – (a) setor da íris lido e (b) setor da íris retificado.	41
Figura 29 – Seleção da seção central do setor retificado da íris.	42

Figura 30 – Região de interesse do setor retificado da íris (padrão da íris).	42
Figura 31 – (a e b) Região de interesse utilizado para aquisição dos valores da íris.	43
Figura 32 – Tela inicial do programa do Sistema de Identificação de Íris.	48
Figura 33 – Caixa para confirmação de saída do programa.	48
Figura 34 – Detalhe da parte de seleção da mídia.	49
Figura 35 – Detalhe da seleção da pasta.	49
Figura 36 - Seleção da imagem.	49
Figura 37 – A imagem selecionada é apresentada do lado direito.	50
Figura 38 - Clicando em; Gravar o padrão ao lado no BD.	51
Figura 39 - Clicando em; Procurar padrão no BD.	51
Figura 40 – Detalhe da imagem da Figura 39.	52
Figura 41 – Detalhes de um resultado da não aceitação de padrão de íris.	52
Figura 42 – Um resultado da não aceitação de um indivíduo.	52
Figura 43 – Mostrando segmento da íris que foi lido.	53
Figura 44 - Mostrando segmento da íris que foi lido e “retificado”.	53
Figura 45 – Um exemplo de Correta Aceitação (CA).	55
Figura 46 - Um exemplo de Falsa Rejeição (FR)	55
Figura 47 - Um exemplo de Correta Rejeição (CR).	56
Figura 48 – Um exemplo de Falsa Aceitação (FA).	56
Figura 49 – Gráfico de impostores e autênticos.	57
Figura 50 – Outra região da mesma íris aproveitada para confirmar o reconhecimento.	59
Figura 51 - Gráfico de impostores, após uso de padrões do lado esquerdo.	60

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação de várias tecnologias biométricas.	8
Tabela 2 - Testes do algoritmo de reconhecimento de íris de Daugman.	13
Tabela 3 – Significado dos valores do coeficiente de correlação.	45
Tabela 4 – Resultados e percentagens	58
Tabela 5 - Resultados e percentagens	60
Tabela 6 – Comparação dos resultados, sem e com o uso do lado esquerdo.	62

Índice

1. Introdução	1
1.1 Importância dos Sistemas Biométricos	1
1.2 Organização do texto	3
2. Biometria e os Sistemas Biométricos	4
2.1 Introdução	4
2.2 Biometria	4
2.3 Os sistemas biométricos	5
2.4 A tecnologia de identificação	7
2.5 Reconhecimento da íris	11
2.5.1 A Anatomia do olho	13
2.5.2 A íris	16
3. Fundamentos Teóricos	21
3.1 Introdução	21
3.2 Captura da imagem	22
3.3 Segmentação	23
3.4 Normalização	24
3.5 Codificação	25
3.6 Identificação de padrões	26
3.6.1 Teoria da Decisão Estatística	27
4 Metodologia de Identificação da Pupila.....	30
4.1 Introdução	30
4.2 Algoritmo usado para a identificação da pupila	31
5 Metodologia de Segmentação da Íris	39
5.1 Introdução	39
5.2 Algoritmo para a segmentação da íris	40

6	Metodologia para a Identificação de Padrões da Íris.....	44
6.1	Introdução	44
6.2	Algoritmo de identificação de padrões da íris	44
7	Sistema de Identificação Pessoal por Íris	46
7.1	Introdução	46
7.2	Algoritmo do sistema de identificação por íris	46
7.3	Rotina computacional	48
8	Resultados e Conclusões	54
8.1	Introdução	54
8.2	Testes com íris que estão no BD.....	55
8.3	Testes com íris que não estão no BD	56
8.4	Considerações sobre os resultados.....	57
8.5	Melhorando o sistema	58
8.6	Discussão de resultados e conclusões	61
8.7	Trabalhos futuros	62
9	Referências Bibliográficas:	63

Lista de símbolos

bitmap	- Mapa de bits. É um nome genérico para uma formatação de imagens que são construídas a partir de pixels e não de curvas (vetores).
CA	- Correta Aceitação (Resultado possível no contexto de uma decisão).
CCD	- CCD (<i>Charge Coupled Device</i>) Em um detector CCD, quando a luz incide na sua superfície de silício o fóton é convertido em elétron. A superfície do CCD é constituído por várias dessas áreas. Cada elemento do detector é chamado de um píxel.
C++	- Linguagem de programação.
CR	- Correta Rejeição (Resultado possível no contexto de uma decisão).
cd	- Candela (Unidade do SI para intensidade de luminosidade, formalmente chamada de vela).
FA	- Falsa Aceitação (Resultado possível no contexto de uma decisão).
FR	- Falsa Rejeição (Resultado possível no contexto de uma decisão).
L	- Luminância (cd/m^2).
Mb	- Mega bytes (unidade de medida de memória)
MHz	- Mega Hertz (medida de frequência)
NIR	- <i>Near infrared</i> (Frequência próxima da faixa do infravermelho).
nm	- Nanômetros = 10^{-9}m (medida de comprimento de onda).
Pixel	- <i>Picture element</i> (menor elemento de uma imagem).
RAM	- <i>Random Access Memory</i> (Memória de acesso randômico).

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 Importância dos Sistemas Biométricos

Os sistemas biométricos de identificação são hoje em dia de grande importância e o avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos tornou possível o desenvolvimento de sistemas biométricos confiáveis e rápidos. Eles têm vantagens em relação aos sistemas tradicionais de identificação pelo fato de estarem sempre disponíveis (o usuário não precisa se lembrar de senhas) e serem intransferíveis.

O recurso a sistemas biométricos tem sido apresentado como um meio tecnológico que visa substituir, ou reforçar, a segurança dos meios tradicionais de controle de entradas e saídas, restringindo nomeadamente o acesso aos locais cuja entrada é privilégio de alguns. Devido aos ataques terroristas no mundo, aumentou a preocupação de alguns governos com a segurança e, conseqüentemente, a necessidade de se identificar pessoas. Atualmente, os governos de alguns países já fazem uso deles no controle de entrada de suas fronteiras, na tentativa de impedir a entrada de algum terrorista, ou simplesmente detectar o acesso de alguém por aquele caminho.

Conforme divulgado na imprensa pelo jornal O Globo em 11 de agosto de 2005, Eric Lipton (2005) diz o seguinte:

“O governo americano já gastou centenas de milhões de dólares numa ciência até então obscura chamada biometria e obteve algum sucesso, mas também fracassos. Os investimentos são feitos numa campanha com o objetivo de rastrear estrangeiros que visitam o país, bem como americanos.

Para impedir a entrada de criminosos e terroristas nos EUA, e melhorar a

aplicação de leis de imigração, funcionários do governo criaram nos últimos anos enormes depósitos de dados biométricos gravados digitalmente — como impressões digitais e traços faciais — que podem ser usados para identificar mais de 45 milhões de estrangeiros. Agências Federais também reuniram dados sobre mais de 70 milhões de americanos, num esforço para agilizar procedimentos legais em fronteiras e procurar terroristas internos.

O controle de imigração e a campanha contra o terrorismo foram estimulados pelos atentados de 11 de setembro de 2001 e por subseqüentes medidas aprovadas pelo Congresso para melhorar a segurança no país.” Eric Lipton (2005).

Entretanto, dentre todos os sistemas biométricos, os baseados no reconhecimento de íris têm se revelado bastante robustos, tornando factível a identificação de seres humanos em tempo real e com alto grau de confiabilidade. Testes de reconhecimento de íris realizados por diversas firmas, baseados no algoritmo de Daugman, J (1994), mostram que os sistemas já reconheceram, sem falha, milhares de íris.

No sistema biométrico aqui apresentado, a fase de captura de imagem foi substituída pelo uso de imagens cedidas pelo *Chinese Academy of Sciences - Institute of Automation - CASIA* (2004). Para capturar uma imagem, eles utilizaram videocâmaras monocromáticas CCD, com iluminação *NIR (near infrared)*, sendo que estas imagens se encontram no formato *bitmap Windows®*.

Para a segmentação de uma íris, necessita-se inicialmente descobrir a localização da pupila, para, a partir daí, extrair-se o segmento desejado da íris. Foi utilizada então uma técnica para detecção da pupila que se baseia no conceito de centro de massa de uma superfície homogênea. Assim, é possível se fazer a segmentação da íris de maneira mais simples do que as técnicas utilizadas atualmente, que usam nesta parte inicial na localização da pupila a transformada de Hough, Paul V.C. (1959).

Na fase de codificação, um pequeno pedaço da íris (tamanho de 45 pixels por 45 pixels), resultante da segmentação, é armazenado para ser utilizado como padrão do indivíduo. O critério para a escolha deste pequeno tamanho foi em função da dimensão média (em pixels), das circunferências das pupilas do banco CASIA, e que mostrou conter quantidade suficiente de informação para que fosse possível se fazer identificação de uma íris. Assim, a identificação de um indivíduo é feita procurando-se pelo padrão em um banco de dados que atinja o maior valor de coeficiente de correlação com aquele recém obtido.

1.2 Organização do texto

Esta dissertação é dividida em oito capítulos. O primeiro apresenta a importância dos sistemas biométricos. O segundo apresenta o que vem a ser biometria e o que são os sistemas biométricos; aborda o reconhecimento de íris e a anatomia do olho e as funções de uma íris. O terceiro capítulo apresenta os fundamentos teóricos das fases de um sistema de reconhecimento de íris e também a teoria da decisão estatística. O quarto capítulo trata do algoritmo fundamentado em centro de massa de uma superfície, como solução na localização da pupila em uma imagem de olho. O quinto capítulo mostra como é feita a segmentação da íris para a criação de um padrão usado neste trabalho. O sexto capítulo mostra o método para identificação de um padrão em que é empregado o coeficiente de correlação como instrumento. O sétimo capítulo mostra os passos do algoritmo desenvolvido para a identificação pessoal pela íris e a rotina computacional desse sistema, que foi desenvolvida na linguagem C++. O oitavo e último capítulo trata dos testes feitos com íris e da análise dos resultados obtidos nestes testes, o que levou ao aprimoramento na rotina do programa conforme mostrado na seção 8.5 e, concluindo, das possibilidades de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Biometria e os Sistemas Biométricos

2.1 Introdução

Este capítulo trata do tema biometria, isto é, a ciência que estuda a medida e análise de dados biológicos. Serão apresentados alguns dos sistemas biométricos mais utilizados atualmente para identificação de indivíduos, e a seguir a tecnologia empregada nesses sistemas para identificação das características fisiológicas. Dentro da seção de reconhecimento da íris, será apresentada a anatomia do olho e, sobretudo da íris, as suas funções e as suas características principais, para o melhor entendimento deste trabalho.

2.2 Biometria

A biometria é conhecida pelo homem desde os seus primórdios, porquanto distinguir um indivíduo de outro através de suas características físicas é um conceito que existe há muito tempo. Recentemente, o termo biometria tem sido utilizado também para referenciar o emergente campo de tecnologia interessado em identificar indivíduos a partir de características biológicas, como retina, íris, impressões digitais e outras.

De acordo com o *Biometrics Journal of The International Biometric Society* (2005), os termos, biométrico e biometria têm sido utilizadas desde o início do século XX para identificar o campo do desenvolvimento de métodos matemáticos e estatísticos aplicáveis à análise de problemas das ciências biológicas e, mais recentemente, à análise dos dados de um ser humano.

O significado da palavra biometria, segundo o dicionário Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda (1986), é o ramo da ciência que estuda a mensuração dos seres vivos. Já o dicionário Michaelis (2000), define biometria como a ciência da aplicação de métodos de estatística quantitativa a fatos biológicos; análise matemática de dados biológicos. Portanto, a biometria é um ramo da ciência que procura medir, quantificar e analisar as características biológicas dos seres vivos, para então extrair informações úteis.

Na tecnologia da informação, a palavra biometria está estreitamente ligada à verificação da identidade de uma pessoa por meio de uma característica única a essa determinada pessoa, Pena, L. P., (2002). A característica única citada pode ser desde uma impressão digital, íris, geometria das mãos, orelha, amostragem de voz, caligrafia até a facial.

Portanto, os sistemas biométricos vêm justamente aproveitar-se dessas características físicas únicas das pessoas. Entretanto, é preciso ressaltar que existem poucas “marcas” que podem servir de identificação de indivíduos. Hoje em dia, com o uso da tecnologia da computação e da matemática, é possível distinguir essas marcas e as suas diferenças mais precisamente e com muita rapidez, permitindo assim a distinção entre indivíduos com mais exatidão, velocidade e confiabilidade.

2.3 Os sistemas biométricos

Os sistemas biométricos podem ser divididos em: sistemas baseados em características comportamentais como assinatura, voz, andar, dinâmica da digitação; e os sistemas baseados em características fisiológicas como reconhecimento de face, retina, íris, orelha, veias, geometria das mãos e impressões digitais.

Assim sendo, a comparação entre estas características (Figura 1), únicas de cada indivíduo, e as mesmas previamente registradas, podem ser usadas para identificar indivíduos. Os sistemas fisiológicos têm como uma de suas principais vantagens o fato de serem intransferíveis, não podendo ser perdidas e nem roubadas, ao contrário das senhas e cartões.

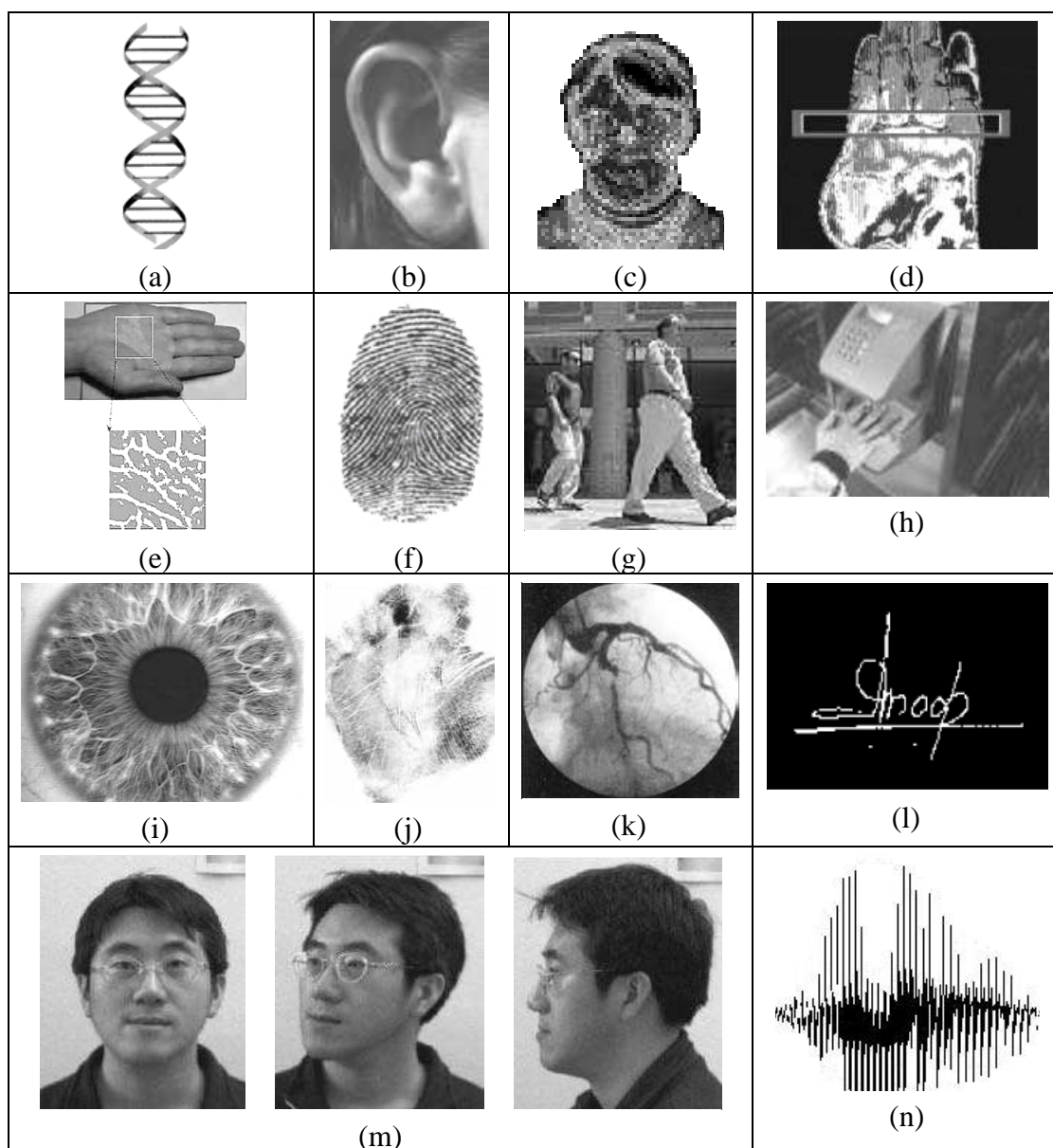


Figura 1 – (a até n) Exemplos de características biométricas.

a) DNA, b) ouvido, c) termograma facial, d) termograma da mão, e) veias da mão, f) impressão digital, g) modo de andar, h) geometria da mão, i) íris, j) impressão da mão, k) retina, l) assinatura, m) face e n) voz. Fonte: Prabhakar, S. et al. (2003).

Existem alguns usos de duas tecnologias combinadas para identificar um indivíduo, porém o americano John Daugman, criador dos algoritmos do reconhecimento de íris e professor de matemática e de computação da Universidade de Cambridge - UK, afirma que: "Uma biometria forte é muito melhor sozinha do que em combinação com uma mais fraca." Daugman, J. (2002). A combinação pode ser uma boa alternativa apenas quando são usadas confirmações do mesmo padrão, por exemplo, as duas íris ou duas digitais de um mesmo indivíduo.

As aplicações dessas tecnologias são ilimitadas, como: proteção de redes informáticas, controle de acesso a recintos, vigilância em espaços públicos, relógio de ponto, autenticação *on-line*, ou podendo substituir documentos de identificação. A existência de tantos tipos de sistemas baseados em biometria possui uma explicação lógica, pois cada um deles tem suas vantagens e desvantagens, e almejam aplicações específicas.

A escolha de um bom sistema biométrico depende de muitos fatores como: a finalidade para o qual se destina, quanto de segurança se deseja, quão envolvido está o custo e outros mais, antes que se possa determinar qual o sistema biométrico a ser usado.

2.4 A tecnologia de identificação

O mecanismo de autenticação por biometria funciona baseado no registro e na verificação. Segundo Masek (2003), o funcionamento de qualquer sistema biométrico consiste, primeiramente, na captura de uma amostra da característica biológica. Esta amostra é então transformada em um padrão biométrico através do uso de funções matemáticas. Este padrão deverá conter uma representação normalizada, também eficiente e discriminada da característica, que pode então ser comparada com outros padrões com o objetivo de se determinar a identidade.

Portanto um sistema biométrico padrão deverá ser composto por:

- Um dispositivo de captura o qual forma a interface do usuário;
- Um programa (*software*) de operação, incluindo o algoritmo matemático que irá checar a medida contra um modelo (*template*);
- Um equipamento (*hardware*).

Os sistemas biométricos são caracterizados, por Anil K. Jain et al. (2004), pelos seguintes atributos:

- Universalidade – Todo indivíduo é possuidor daquela característica;
- Unicidade – Não existir a possibilidade de dois indivíduos possuírem o mesmo padrão da característica;
- Imutabilidade – a característica não se modifica ao longo do tempo;
- Coletabilidade – A característica pode ser medida quantitativamente.

Na prática, Anil K. Jain et al. (2004) mostra que existem outros requisitos também importantes, como:

- Desempenho – refere-se à precisão da identificação, aos recursos necessários para se alcançar uma aceitável precisão na identificação e aos fatores ambientais que afetam a precisão da identificação.
- Aceitabilidade – indica o grau de aceitação dos indivíduos ao sistema biométrico.
- Circunvenção – refere-se à dificuldade de se ludibriar o sistema por técnicas fraudulentas.

A tabela 1 mostra a comparação feita entre os requisitos acima citados nos diversos tipos de biometrias hoje existentes:

Tabela 1 – Comparação de várias tecnologias biométricas.
Alta, Média e Baixa são respectivamente A, M e B.
(Adaptado de: Anil K. Jain et al. (2004))

Biometria	Universalidade	Unicidade	Imutabilidade	Coletabilidade	Desempenho	Aceitabilidade	Circunvenção
DNA	A	A	A	B	A	B	B
Orelha	M	M	A	M	M	A	M
Face	A	B	M	A	B	A	A
Termograma facial	A	A	B	A	M	A	B
Impressão digital	M	A	A	M	A	M	M
Modo de andar	M	B	B	A	B	A	M
Geometria das mãos	M	M	M	A	M	M	M
Veias das mãos	M	M	M	M	M	M	B
Íris	A	A	A	M	A	B	B
Padrão da digitação	B	B	B	M	B	M	M
Odor	A	A	A	B	B	M,	B
Impressão das mãos	M	A	A	M	A	M	M
Retina	A	A	M	B	A	B	B
Assinatura	B	B	B	A	B	A	A
Voz	M	B	B	M	B	A	A

Nos equipamentos biométricos de captura de imagem, os leitores devem compensar uma ligeira variação, para que assim se tornem mais precisos. Para tanto, os sensores desses equipamentos devem ser preparados para minimizar a rotação das imagens que são capturadas, devendo também compensar uma ligeira variação na imagem armazenada.

A seguir na figura 2 (a até h) são apresentados alguns exemplos dos vários sistemas biométricos atuais e os seus diversos usos (adaptação do trabalho de: Anil K. Jain et al. (2004)):

- (a) Um sistema de verificação de digital da *Digital Persona Inc.*, que é usado para computador e login de acesso a internet.
- (b) Uma base de verificação de digital usado para vendas, terminal da *Indivos Inc.*
- (c) Uma fechadura baseada em verificação de digital manufaturada pela *BioThentica Corp.*
- (d) O *Immigration and Naturalization Service Accelerated Service System* (INSPASS), que está instalado nos maiores aeroportos dos Estados Unidos, e é baseada na verificação da geometria das mãos, cuja tecnologia foi desenvolvida pela: *Recognition Systems, Inc.*
- (e) Um sistema de passagem de fronteira usando reconhecimento de íris no aeroporto de Londres.
- (f) O aeroporto Ben Gurion em Tel Aviv (Israel) usa um quiosque de entrada por uma passagem *Express Card*, no qual está instalado um sistema biométrico baseado em geometria das mãos, e é usado para a imigração e segurança.
- (g) Um sistema baseado no reconhecimento de face, *FacePass system* da *Viisage*.
- (h) O *Identix TouchClock* um sistema de verificação baseada em verificação de digital.

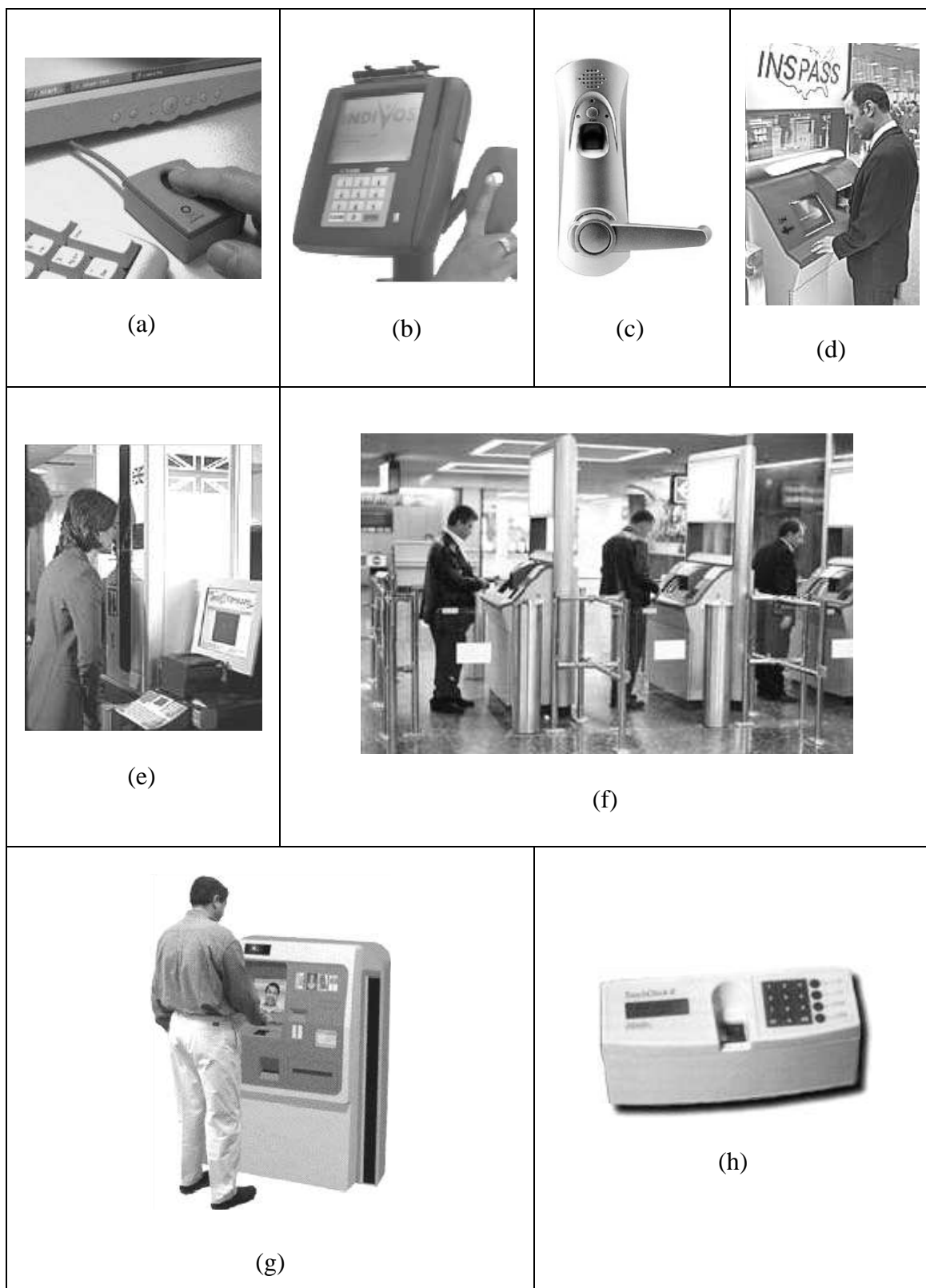


Figura 2 – (a até h) Exemplos de aplicações biométricas.
a) Verificação de digital, b) Base de verificação de digital para vendas,
c) Fechadura baseada em digital, d) Verificação da geometria das mãos,
e) Reconhecimento de íris, f) Geometria das mãos, g) Reconhecimento de face,
h) Verificação de digital. (Adaptado de: Anil K. Jain et al. (2004))

2.5 Reconhecimento da íris

Já vem de muito tempo a consideração do uso da íris na identificação de um indivíduo, e um pouco dessa história é apresentado no trecho reproduzido da quarta conferência do *National Center for State Courts* (2004):

“A idéia de usar os padrões da íris para identificação pessoal foi, originalmente, proposta em 1936 pelo oftalmologista Frank Burch. Depois a idéia reapareceu nos filmes de James Bond e acabou sendo tratada como ficção científica.

Em 1987 dois outros oftalmologistas, Aran Safir e Leonard Flom, patentearam esta idéia, e em 1989 eles pediram a John Daugman (então lecionando na *Harvard University*), que tentasse criar um algoritmo de reconhecimento de íris. Este algoritmo, que Daugman patenteou em 1994 e é hoje de propriedade da *Iridian Technologies*, é a base de todos os atuais sistemas e produtos de reconhecimento de íris.”

Atualmente esta tecnologia é considerada a mais segura do mundo, pois a íris atende aos atributos de:

- Unicidade – A possibilidade de que dois indivíduos possuam a mesma característica é mínima;
- Estabilidade – A característica de um padrão de permanecer inalterado por toda a vida do indivíduo;
- Facilidade de captura – A forma de captura dos dados para o reconhecimento não ser invasiva.

A captura da íris não gera problemas como o processo de captura de digitais, seja quando a técnica usada é a tinta, ou quando a técnica usa prismas óticos em que a pressão do dedo sobre a superfície é um ponto crítico, como foi citado por Oliveira, S. L. G. (2004). Isto porque no processo de captura da íris não existe o contato, que é necessário durante o processo de captura de uma digital.

Na Figura 3, são apresentados exemplos de dois aparelhos de reconhecimento de íris da Panasonic atualmente no mercado e que são oferecidos no site da empresa.

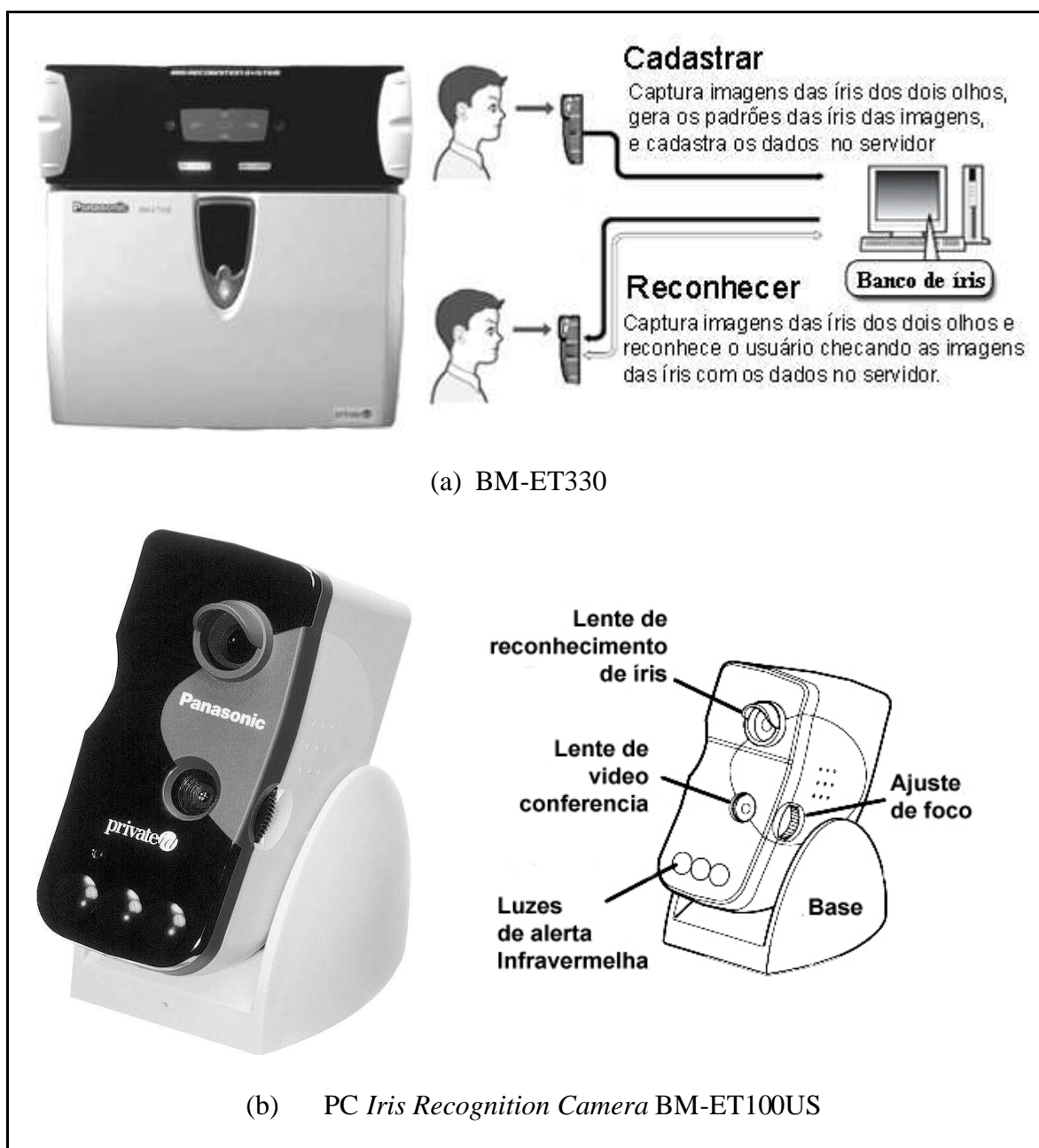


Figura 3 – (a, b) Dois aparelhos de reconhecimento de íris da Panasonic.
 Fonte: *Panasonic Biometric Iris Recognition System* (2005).

Segundo os estudos do cientista John Daugman, o uso de padrões da íris para identificação é uma tecnologia seis vezes mais segura que a utilizada na impressão digital.

Hoje em dia, a segurança na identificação já é comprovada por diversas empresas que fazem uso do algoritmo de reconhecimento de íris idealizado por Daugman. Para tanto, basta observar os resultados obtidos nos testes de reconhecimento de íris de

várias empresas, apresentados na Tabela 2, onde em todas as comparações feitas com os padrões de íris, o número de falsas ocorrências foi sempre igual à zero.

Tabela 2 - Testes do algoritmo de reconhecimento de íris de Daugman.

Nota: Nas referências as procedências dos dados.

Teste dos Algoritmos de Reconhecimento de Íris de Daugman.		
Organizações de Teste	Número de Comparações	Falsas ocorrências
<i>Sandia Labs, USA (1996).</i>	$0,019701 \times 10^6$	0
<i>British Telecom Labs, UK (1997)</i>	$0,222743 \times 10^6$	0
<i>Sensar Corp., USA (2000)</i>	$0,4995 \times 10^6$	0
<i>Ensched, Joh, (2000)</i>	$0,0199 \times 10^6$	0
<i>EyeTicket, USA (2001)</i>	$0,3 \times 10^6$	0
<i>National Physical Lab, UK (2001)</i>	$2,73 \times 10^6$	0
<i>Daugman J., UK (2003b)</i>	$0,0091 \times 10^6$	0
<i>Iridian Technologies, U.S.A. (2003)</i>	$0,984 \times 10^6$	0

Com elevado número de comparações, e sem a existência de falsas ocorrências, já está provado que o reconhecimento de íris é uma tecnologia que possui como pontos fortes os atributos de unicidade e estabilidade, além do fato de que é fácil de capturar e por não ser invasiva.

2.5.1 A Anatomia do olho

A íris é uma estrutura relacionada a um órgão mais geral chamado olho. Para entender o que vem a ser a íris, as suas funções e o seu funcionamento, é necessário estudar o olho como um todo e depois a íris mais detalhadamente.

Anatomicamente, o globo ocular (como o próprio nome diz, em forma de globo), fica alojado em uma cavidade, formada por vários ossos (ossos do rebordo orbitário: frontal, apófise orbitária externa, malar, maxilar superior e os ossos das paredes: pequena asa do esfenóide, grande asa do esfenóide, etmóide, unguis, fosseta lacrimal),

chamada órbita. O globo ocular é aderido a esta órbita pelos músculos extrínsecos que lhe dão a capacidade de movimentação, tendo como amortecedor o tecido adiposo (gordura). Na parte frontal o globo ocular é protegido pelas pálpebras e cílios.

Ele é circundado pelos músculos extra-oculares, gordura e tecido conjuntivo. Existem quatro músculos retos e dois músculos oblíquos inseridos no olho. Apenas um terço anterior do olho fica exposto. Este consiste numa porção central transparente (córnea) e uma porção adjacente branca (esclera), o que pode ser visto na Figura 4.

O diâmetro antero-posterior normal do olho está entre 22 e 26 mm, Gowdak, Luis Henrique et al (1989).

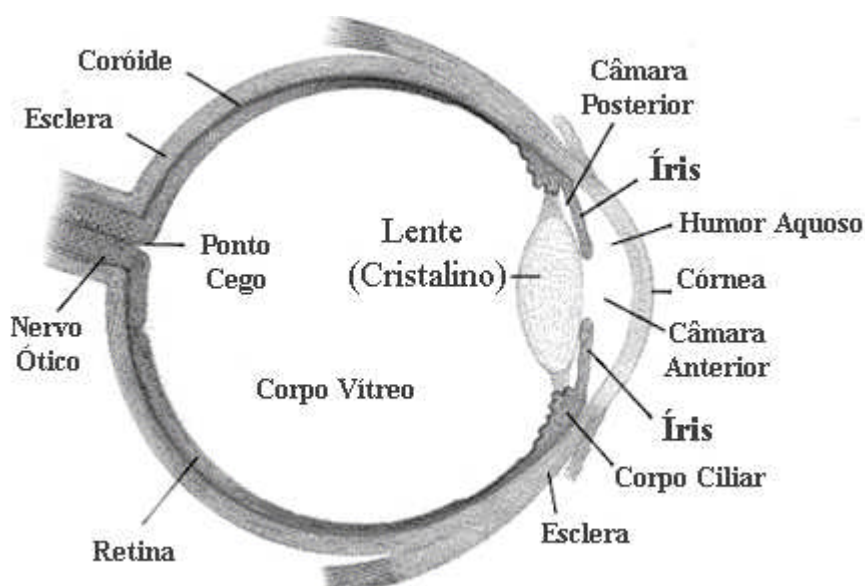


Figura 4 – Vista de um corte do olho humano.
Adaptado de: Gowdak, Luis Henrique et al. (1989)

O olho pode ser dividido em três camadas: Externa, Intermediária e Interna.

A camada externa é a camada protetora e é composta pela córnea transparente, esclera opaca e sua junção - o limbo, onde se encontra a trama trabecular, por onde escoo o humor aquoso.

A camada intermediária é a camada vascular ou úvea que é formada pela íris, pelo corpo ciliar e pela coróide. A íris possui uma abertura central (pupila) para a passagem da luz e funciona como um diafragma regulando esta entrada. O corpo ciliar secreta humor aquoso e sustenta o cristalino. O cristalino é uma estrutura transparente

localizada atrás da íris e sustentada por fibras finas (zônula), que ligam a cápsula do cristalino ao corpo ciliar.

A camada mais interna é a retina, que é a camada nervosa, onde são projetadas as imagens para que depois sejam levadas ao cérebro através do nervo ótico.

O olho compreende duas cavidades: a câmara anterior e a cavidade vítrea.

A câmara anterior é a região entre a superfície posterior da córnea e a íris, preenchida por humor aquoso, que é produzido pelos processos ciliares do corpo ciliar e drenado pela trama trabecular. A cavidade vítrea é a maior e está localizada atrás do cristalino, se estendendo até a frente da retina (Figura 4).

O sistema visual é formado por duas lentes, a córnea e o cristalino, cujo poder de refração deve levar a imagem a se formar sobre camada neurosensorial que é a retina (Figura 5). Essa camada possui muitos pequenos órgãos sensoriais (cones e bastonetes) sensíveis à luz e às cores. É desses pequenos órgãos que partem os estímulos através de finas fibras nervosas que, quando se juntam, formam o nervo óptico que sai pela parte posterior do olho em direção ao cérebro, levando os impulsos nervosos ao córtex visual deste (Figura 5).

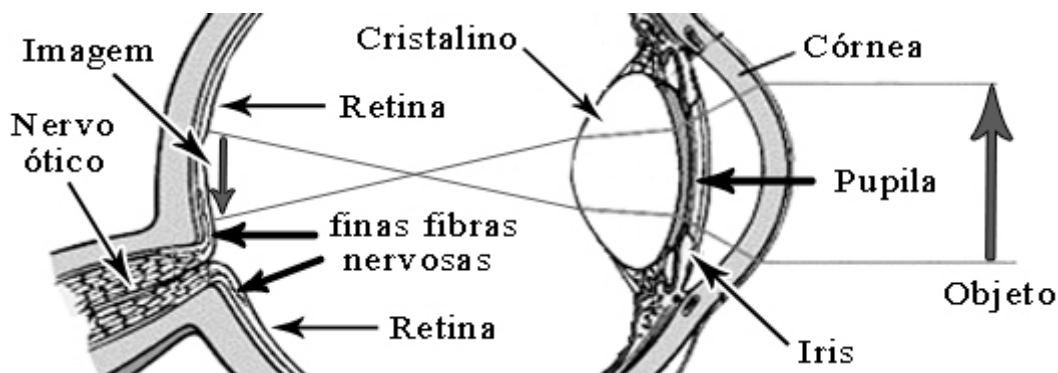


Figura 5 – Corte de olho humano, mostrando formação da imagem na retina.

Para regular este processo funciona um sistema de diafragma que regula a entrada de luz no olho (íris-pupila), e um sistema de foco para visualizar longe ou perto (acomodação), realizado (sistema de foco), pelo complexo músculo ciliar, zônula e cristalino, Gowdak, Luis Henrique et al. (1989).

Essa propriedade que a íris possui de ter um padrão de desenho único que, de certa forma, é mantido em linhas gerais mesmo com a sua contração (diminuição da

pupila), ou dilatação (aumento da pupila), que é aproveitada para o uso do reconhecimento da íris. Daugman (2002) sustenta que esta deformação causada pela dilatação da pupila é uniforme sobre toda a superfície da íris, sendo facilmente revertida matematicamente. Analogamente, é como em um balão de borracha que apresente um desenho sobre a sua superfície, e tem este mesmo desenho proporcionalmente ampliado ou reduzido, caso o balão encontre-se cheio ou vazio.

2.5.2 A íris

É uma estrutura plana que divide a frente do olho (câmara anterior) da parte posterior do olho (câmara posterior). Só é vista porque a córnea é transparente. É ela que dá o colorido ao olho, pois esta coloração vem de uma microscópica célula de pigmentação chamada melanina. A cor, a textura e os padrões da íris de cada pessoa são únicos, como a digital.

A íris é um fino diafragma circular com um orifício (pupila) em seu centro, que residindo entre a córnea e o cristalino (as lentes do olho humano) funciona como o diafragma de uma máquina fotográfica (Figura 6).

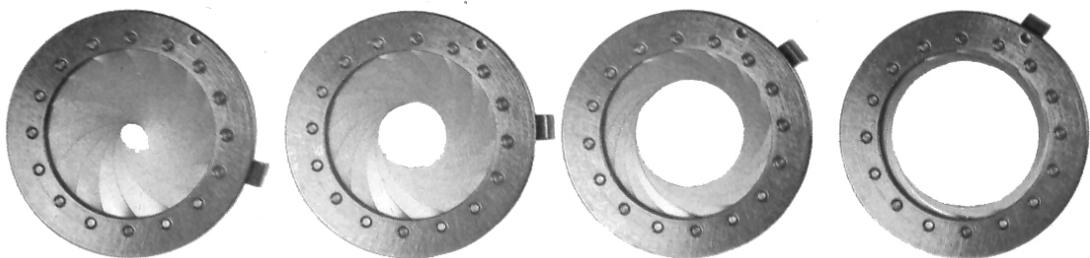


Figura 6 – Diafragma de uma máquina fotográfica, mostrando diversas aberturas. É dessa maneira que a luz é regulada no interior de uma câmara fotográfica, assim como a abertura da pupila regula a luz no interior do olho.

Na Figura 7, vê-se uma íris vista de frente e a vista de um corte esquemático do olho. A pupila não é um órgão, é apenas uma abertura circular no centro da íris, por onde a luz entra no interior do olho, é também chamada popularmente de "menina dos olhos"; ela tem a característica de poder se abrir e fechar regulando assim a quantidade de luz que a retina (interior do olho) recebe.

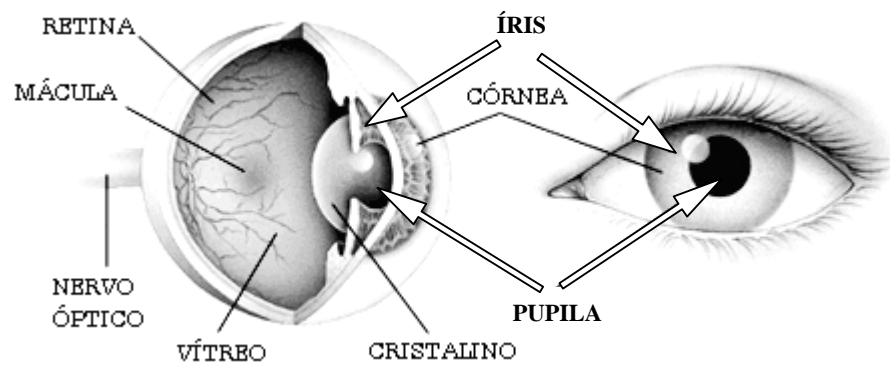


Figura 7 – Um corte e uma vista frontal, de um olho humano.

É, portanto, função da pupila controlar o nível de luz no interior do olho, em similaridade com o diafragma de uma câmara fotográfica. Para tanto, a íris possui dois músculos diminutos, o esfíncter e o dilatador, que ajustam o tamanho da pupila contraindo ou dilatando a sua dimensão, regulando assim a entrada da quantidade de luz no interior do olho. O músculo esfíncter está em volta da borda da pupila, e na luz intensa este se contrai, causando a constrição da pupila. Já o músculo dilatador trabalha radialmente pela íris, dilatando a pupila na presença de pouca luz.

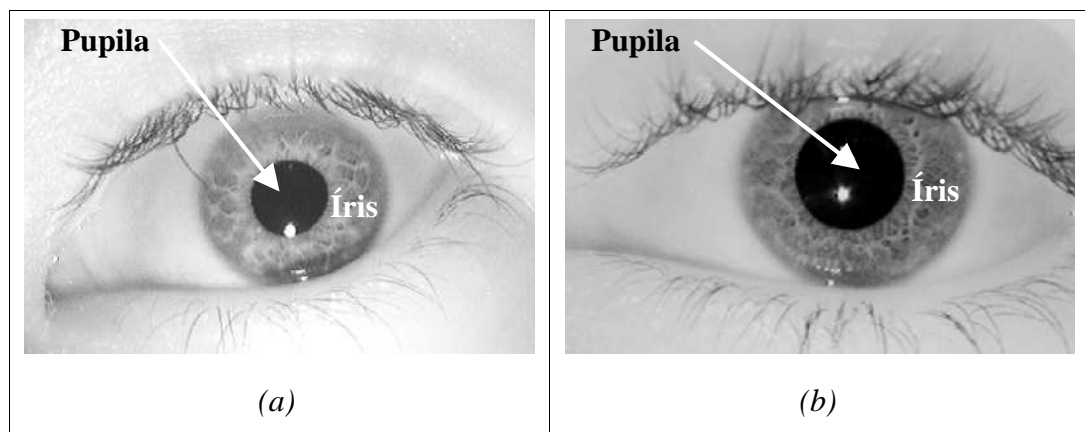


Figura 8 – (a, b) Exemplo padrões de íris humanas.

Imagens obtidas com videocâmaras monocromáticas CCD a distância aproximada de 30 cm, usando iluminação *NIR* (*near infrared*), na faixa de 700-900 nm.

Fonte: Daugman, J. et al. (2001).

O diâmetro médio da íris é de 12 mm e o tamanho da pupila pode variar em função da luz, de 10% a 80% do diâmetro da íris Daugman, J. (2002). Na Figura 8 (a) e (b), são apresentadas essas variações da pupila em função da luz.

Algumas equações empíricas que descrevem estas variações no tamanho da pupila, como uma função da luminância, já foram propostas em outros trabalhos. Por

exemplo, Moon e Spencer em 1944, apresentaram para o cálculo do diâmetro da pupila, a seguinte expressão, Moon et al (1944):

$$\text{Diâmetro da pupila} = 4,9 - 3 \tanh[0,4(\log L + 1,0)] \quad (1)$$

E também DeGroot e Gebgard em 1952 chegaram a uma outra expressão, DeGroot et al (1952):

$$\text{Diâmetro da pupila} = 10^{(0,8558 - 0,000401(\log(L) + 8,6)^3)} \quad (2)$$

Para ambas, a luminância (L) tem como unidade a candela por metro quadrado (cd/m^2), onde candela (cd) é a unidade do SI de intensidade luminosa (formalmente chamada de vela).

Assim, pode-se afirmar que de acordo com as equações 1 e 2, cujos gráficos são vistos na Figura 9, o diâmetro de uma pupila de qualquer indivíduo varia entre 2 mm e 8 mm, e também em ambos os gráficos pode-se ver que, escolhida uma mesma faixa de luminosidade (ver faixa escura nos gráficos) o diâmetro da pupila é bem semelhante. Pode-se então aproveitar esta propriedade na fase de captura da imagem de um olho, para que se tenham sempre pupilas com os mesmos diâmetros nas imagens capturadas.

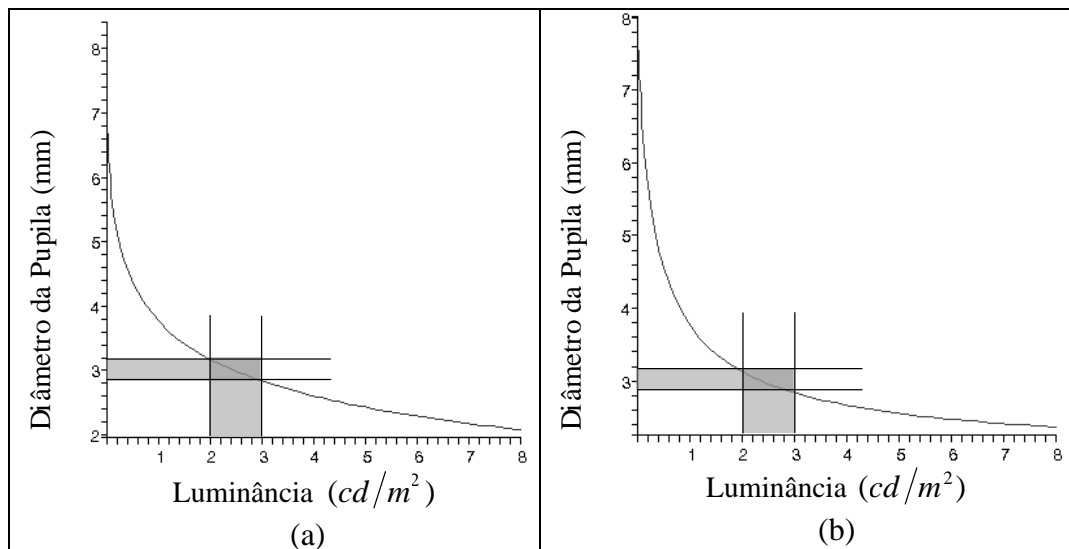


Figura 9 – Variação do diâmetro da pupila como função da luminância. Resultados obtidos por: (a) DeGroot et al (1952) e (b) Moon et al (1944).

A íris é uma estrutura formada por duas camadas (Figura 10 (a)). A camada estroma situa-se acima e a mais baixa é a camada epitelial, que contém células densamente pigmentadas, contém vasos sanguíneos, células pigmentadas e os dois músculos da íris. A densidade da pigmentação determina a cor da íris. As superfícies visíveis e externas da íris contêm duas zonas, que às vezes diferem na cor: uma zona ciliar (externa) e uma zona pupilar (interna). Estas zonas são divididas pelo colarete, que apresenta um padrão de zigzag, conforme pode ser visto na Figura 10 (b).

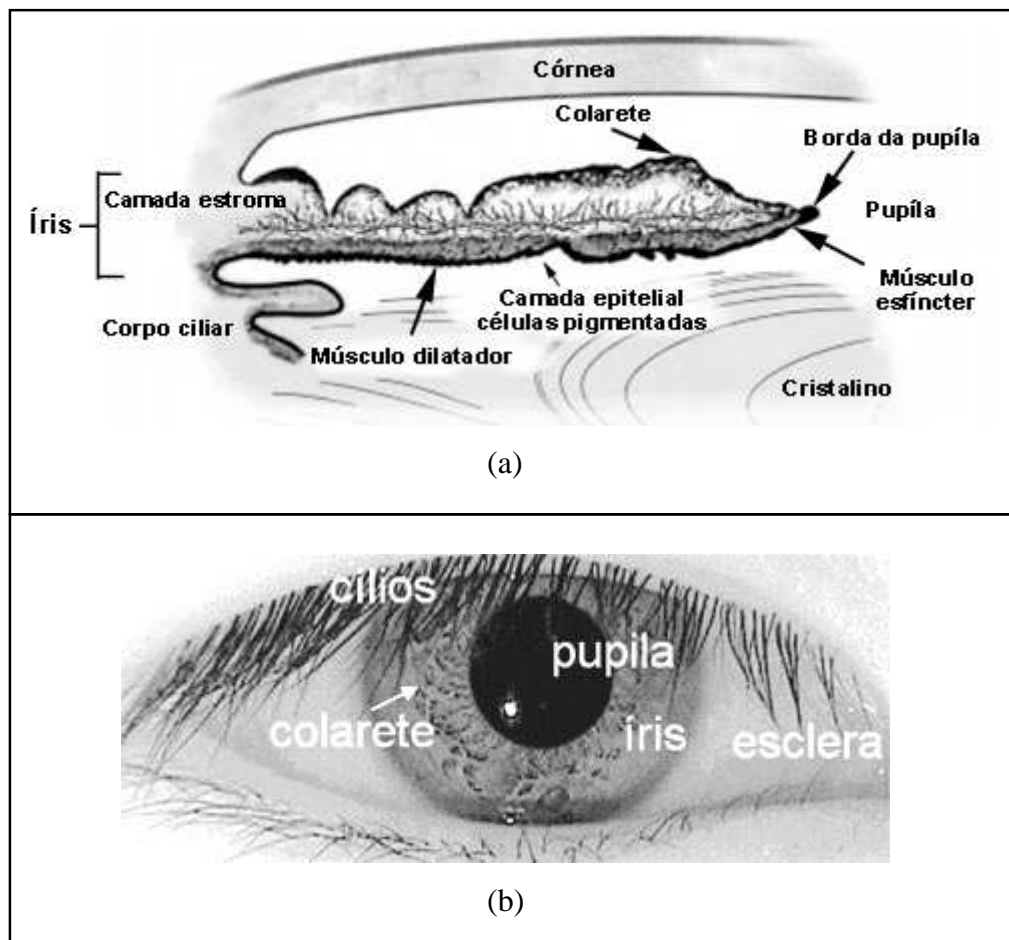


Figura 10 – (a, b) Anatomia da íris humana.

(a) Seção transversal da estrutura da íris Adaptado de: *Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology*, Wildes (1997); (b) Vista frontal de um olho humano.

A formação da íris começa no terceiro mês da vida embrionária, Kronfeld (1962). O padrão individual na superfície da íris é formado até o primeiro ano de vida, bem como a pigmentação do estroma. A formação do padrão individual da íris é randômica e

não está relacionada a nenhum fator genético, Wildes et al. (1994). A única característica que é geneticamente dependente é a pigmentação da íris, que determina a sua cor. Devido ao caráter epigenético dos padrões de íris, os dois olhos de uma mesma pessoa contêm padrões de íris completamente independentes, e mesmo gêmeos idênticos possuem padrões de íris não correlacionados.

Quanto à afirmação de iridologistas (iridologista - pessoas que dizem descobrir o estado de saúde de alguém através do exame da íris), de que os padrões da íris mudam conforme o estado de saúde do indivíduo, permitindo assim conhecer a cada momento o estado de saúde através do exame de sua íris. Simon, A. et al. (1979), Cockburn, D. M. (1981) e Berggren, L. (1985), publicaram em jornais médicos, após testes científicos, como sendo a iridologia uma fraude médica. Uma análise publicada por Berggren, L. (1985), concluiu que: “O bom atendimento aos pacientes é inconsistente com métodos enganosos, e a iridologia deve ser abordada como uma fraude médica”. Ou seja, por não existir variação na forma e na textura de uma íris durante a vida de uma pessoa, é que essa característica pode ser usada para o reconhecimento de uma pessoa, portanto se alguma variação houvesse não se poderia usá-la para tanto.

Em seu trabalho “*RECOGNIZING PERSONS BY THEIR IRIS PATTERNS*” Daugman no capítulo 7 *Stability of Iris Patterns Over Time*, conclui que: “os padrões imutáveis de uma íris durante a vida são garantidos” Daugman, J. (2001), indicando deste modo que essa é uma biometria forte, pois atende ao atributo de imutabilidade.

Portanto, os sistemas biométricos baseado em íris são viáveis, e no próximo capítulo serão abordados quais os procedimentos teóricos para o funcionamento de um sistema biométrico e mais especificamente o baseado em íris.

CAPÍTULO 3

Fundamentos Teóricos

3.1 Introdução

Neste capítulo é mostrado como deve ser o procedimento de funcionamento de um sistema biométrico baseado em íris. Para tanto se devem realizar cinco etapas: captura da imagem, segmentação, normalização, codificação e identificação de padrões, como ilustra a Figura 11.

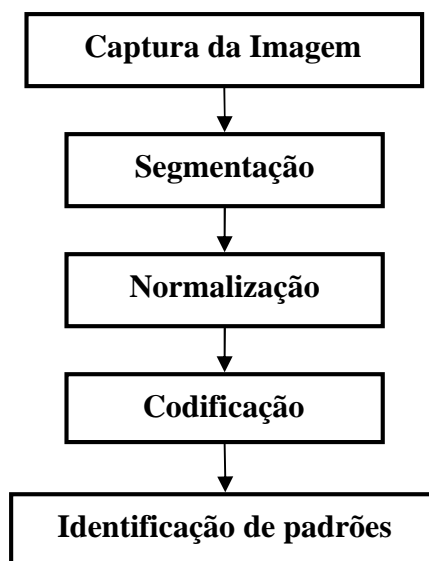


Figura 11 – As cinco fases de desenvolvimento de um sistema biométrico

Iniciando-se com a captura da imagem através da fotografia de um olho, em seguida tem-se o estágio de segmentação, que vem a ser a separação do pedaço da imagem no qual se está interessado (íris). Logo após, temos a normalização, onde são feitas correções matemáticas do pedaço da íris e, a seguir, a fase de codificação, que é a técnica para codificar a íris em um padrão, que será usado posteriormente no reconhecimento. Finalmente pode-se então fazer a identificação de padrões.

3.2 Captura da imagem

Nesta fase, deve-se usar uma videocâmara monocromática CCD de boa qualidade, capaz de capturar as frequências próximas ao infravermelho, usando iluminação *NIR* (*near infrared*) também conhecido como o infravermelho de reflexão, na faixa de 700-900 nm (nanômetros). Na Figura 12 alguns exemplos de imagens da *Chinese Academy Of Sciences - CASIA* (2004), feitas desta forma e tiradas com a câmara à uma distância aproximada de 30 cm.

Nos sistemas de reconhecimento de íris, as imagens de íris captadas por uma câmara fotográfica comum podem ter algumas regiões parcialmente alteradas por causa de reflexos, causando problemas já no processo de segmentação.

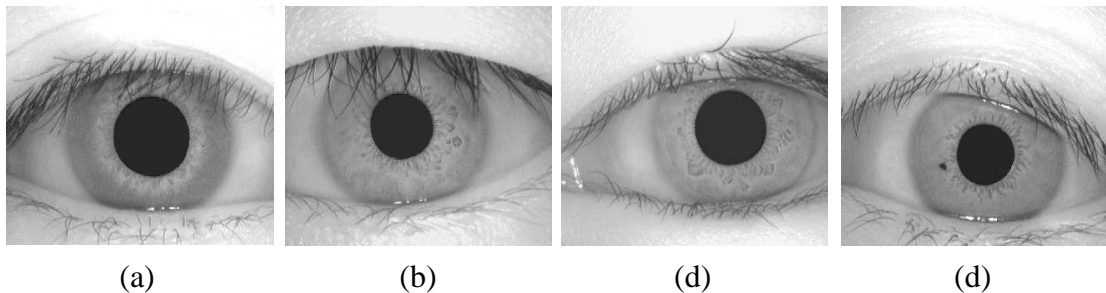


Figura 12 – (a até d) Exemplos de imagens de olhos (reduzidas), do banco de olhos, cedido pela *Chinese Academy Of Sciences CASIA* (2004).

Outra coisa a qual vale a pena salientar é de que, durante a captura da imagem é necessário que seja mantida uma mesma luminosidade, para que então o tamanho do diâmetro da pupila, seja aproximadamente o mesmo em todas as capturas. De acordo com os gráficos da Figura 9(a e b) (b) Moon e Spencer em 1944, e (a) DeGroot e Gebhard em 1952, mostraram que em uma mesma luminosidade, tem-se mesmo diâmetro para a pupila.

Vale ressaltar que as pessoas com pigmentação muito escura da íris apresentam um baixo contraste entre a pupila e a íris, o que pode vir a tornar a segmentação mais difícil de ser feita. Portanto a captura de imagens usando-se as frequências próximas ao infravermelho (*NIR*) melhora além dos reflexos este problema.

Uma vez obtida a imagem, faz-se necessário isolar a região da íris, para que se possa pegar uma amostra dela. A esta fase dá-se o nome de segmentação. O sucesso da segmentação (fase descrita na seção a seguir) está sujeito à qualidade das imagens capturadas.

3.3 Segmentação

O estágio de segmentação é crítico para o sucesso de um sistema de reconhecimento da íris, uma vez que uma amostra do padrão de íris falsamente representado irá corromper os padrões biométricos gerados, resultando em baixas taxas de reconhecimento.

Primeiro, é necessário localizar e isolar a íris, e então a íris pode ser aproximada por dois círculos (Figura 13): um formado pela fronteira íris/esclera e outro interno formado pela fronteira íris/pupila. Há que ser lembrado que os cílios e as pálpebras normalmente ocultam as partes superior e inferior da íris e que reflexões especulares também podem ocorrer e corromper o padrão da íris. É necessária então uma técnica para isolar e excluir estas interferências, bem como localizar a região central da íris, como também, o fato de que o centro da pupila nem sempre coincide com o centro da íris. Na maioria dos casos, o centro do círculo íris/pupila está abaixo do centro do círculo íris/esclera, podendo divergir em até um milímetro de distância.

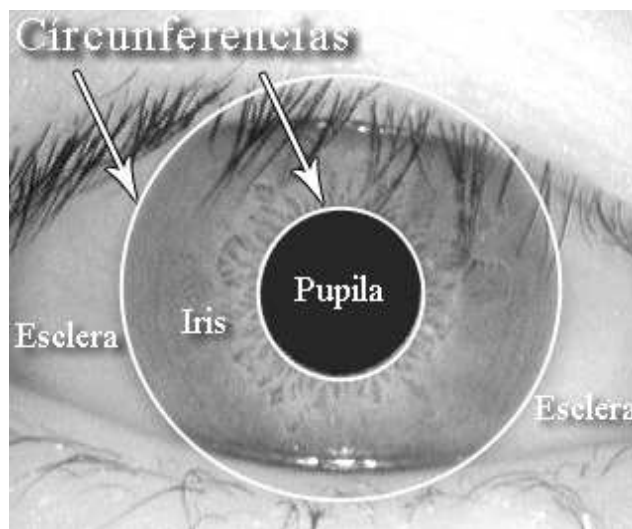


Figura 13 – Circunferências (não concêntricas),
Região de segmentação entre as fronteiras Íris/Pupila e Íris/Esclera.

Na fase de segmentação de imagens de íris, onde inicialmente deve ser localizada a pupila, as técnicas mais utilizadas mencionadas na literatura são: a Transformada de Hough (Wildes, R. et al. (1994), Kong, W. et al. (2001), Tisse, C. et al. (2002), Ma, L. et al. (2002)), o Operador Integro-Diferencial de Daugman (Daugman, J. (1994)), Modelos de Contorno Ativo (Ritter, N. (1999)) e Pálpebras e Detecção de Ruídos

(Kong, W. et al. (2001)).

A Transformada de Hough, que é um método usado originalmente para achar linhas em uma imagem, evoluiu e hoje é também utilizada para achar formas com maior complexidade, como retângulos, elipses e circunferências. Portanto, no caso específico de encontrar, em uma imagem de olho, a pupila, o algoritmo de Hough procura por toda a área da imagem de um olho por circunferências formadas por bordas, e conseqüentemente acha as que passam na borda da pupila e pela fronteira da íris/esclera.

Neste trabalho é usada uma nova metodologia para a detecção da pupila e da circunferência nela inscrita, que é a primeira tarefa a ser feita na fase de segmentação.

O algoritmo para a segmentação, se inicia então, pela detecção do centro da pupila, como se ele fosse o centro de massa de uma superfície homogênea. Para tanto, considera-se que o círculo mais escuro (pupila) é uma superfície homogênea, ou seja, com os seus valores de pixels iguais à zero. Para tanto se tomaram os valores menores do que 66 como sendo a tonalidade de valor de limite de tons pertencente á pupila (na escala de cinza que varia entre 0 a 255), ou seja, todos os valores compreendidos entre 0 e 66 são considerados iguais à zero.

Com base neste conceito, parte-se para a procura na matriz da imagem, do centro de massa dos pixels cujos valores estão no intervalo de cinza entre 0 e 66, tendo-se então como resultado as coordenadas x e y, do centro do círculo coincidente com a pupila. De posse deste centro de coordenadas x e y, o raio (r) da circunferência que passa pela fronteira pupila/íris pode a ser seguir achado.

Iniciando-se então a partir desse ponto, o procedimento de segmentação propriamente dita. Fazendo-se a leitura dos pixels da íris por circunferências concêntricas com raios maiores do que r, até atingir a borda íris/esclera, varre-se toda a área da íris que é a objeto a ser segmentado.

3.4 Normalização

Após a fase de segmentação, segue-se uma fase em que se procura fazer correções matemáticas para dar maior robustez ao modelo. Por robustez do modelo, entende-se que ele deva ser invariante à alteração de tamanho, posição e orientação das amostras. A esta fase dá-se o nome de normalização. No caso do reconhecimento de íris,

isto significa que a codificação, que é a criação do padrão, deva ser invariante ao tamanho da imagem, ao tamanho da pupila, à posição da íris na imagem e à orientação dela na imagem.

O problema da dilatação da pupila é aparentemente o maior desafio a ser superado nesta fase, podendo provocar uma deformação no padrão de textura da íris. Porém, se na fase de captura das imagens se elas forem sempre obtidas com a mesma luminosidade vem a tornar este problema bastante amenizado, pois todas as imagens terão pupilas com tamanhos iguais, conforme explicado na seção 3.2 - Captura da imagem.

Na fase de normalização, os seguintes métodos são mais utilizados: Modelo Rubber Sheet de Daugman, Daugman, J. (2002), Registro de Imagens, Wildes (1994) e Círculos Virtuais, Boles W. (1998). Alguns desses métodos usam basicamente a transformação de uma imagem bitmap em uma imagem vetorial (onde os valores para localização de um ponto na imagem são o tamanho do vetor e o ângulo). Tornando assim possível fazer mais facilmente uma ampliação, redução ou mesmo fazer comparações entre imagens, que anteriormente apresentassem medidas, não vetoriais.

Neste trabalho não foi usado tratamento no segmento da imagem visando a sua normalização. Conforme explicado na seção 2.5.2, sendo a variação no diâmetro da pupila uma função da luminância, se a iluminação é mantida constante implica que o diâmetro da pupila também o será, conforme mostram os resultados obtidos por Moon e Spencer em 1944 e DeGroot e Gebhard em 1952 (ver Figura 9). Portanto, se as pupilas possuírem o mesmo diâmetro, irão produzir sempre, segmentos da mesma região. Conseqüentemente, para obter imagens de olhos em que todas as pupilas venham a apresentar o mesmo diâmetro, basta usar uma mesma intensidade de iluminação, durante a fase de captura das imagens de olhos.

3.5 Codificação

Na fase de codificação, faz-se necessário escolher uma técnica para codificar a íris em um padrão que será usado para o reconhecimento. Somente as características significantes da íris devem ser codificadas para que se possa fazer a comparação entre padrões. A maioria dos sistemas de reconhecimento faz uso de filtros passa-banda aplicados à imagem da íris, para criar o padrão biométrico que será usado na etapa

seguinte, que é a de identificação de padrões.

Os algoritmos de codificação mais usados são: a Codificação com Filtros Log de Gabor, Field, D.(1987), Filtros de Gabor, Daugman, J. (2002) e Gabor wavelets, Daugman, J. (2003a).

Neste trabalho, usa-se como sendo a codificação do padrão, o resultado da segmentação, ou seja, um pequeno pedaço de imagem da íris com 45 pixels por 45 pixels. São os valores de cinza dos pixels dessa matriz (imagem) que são usados como os valores de codificação.

3.6 Identificação de padrões

O padrão gerado para uma íris é aquele que fornecerá os valores com os quais se poderá, através de uma medida de similaridade entre dois padrões, dizer com alto grau de certeza se os dois padrões são da mesma pessoa ou de duas pessoas diferentes.

O coeficiente de correlação, também conhecido como correlação de Pearson, é descritivo. E o coeficiente de correlação é uma técnica estatística que pode mostrar, se e quão, um par de variáveis, se relacionam.

A correlação r é então definida por Meyer, Paul L., (1970), no seu livro Probabilidade Aplicações à Estatística, página 326 como:

Sejam duas series x_i e y_i onde $i = 1, 2 \dots n$.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (3)$$

$$\text{onde:} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Portanto, será usada neste trabalho, para a fase de identificação de padrões, a técnica estatística da medida do coeficiente de correlação entre os valores de cinza da

matriz de um padrão, com a de outro padrão. É no valor encontrado para este coeficiente, que se saberá qual é o grau de similaridade entre dois padrões de íris, valor este que deverá ser escolhido para a tomada de decisão de identificação positiva ou não, através da teoria da decisão estatística (seção 3.6.1) mostrada a seguir.

3.6.1 Teoria da Decisão Estatística

Somente o cálculo do coeficiente não é o bastante no processo de identificação para a tomada de decisão de “Sim ou Não”; é necessário que seja escolhido qual o valor desse coeficiente, para que o sistema de identificação tenha o menor número de Falsa Aceitação e Falsa Rejeição. No trabalho *Biometric decision landscapes*, John Daugman (2000) diz que (tradução livre):

“Decisões de “Sim e Não” do padrão de reconhecimento possuem quatro possíveis resultados: ou um padrão dado é ou não é de fato o alvo; e, nos dois casos, a decisão feita pelo algoritmo de reconhecimento pode ser tanto a correta quanto a incorreta. No contexto de uma decisão biométrica os quatro resultados possíveis são normalmente chamados Falsa Aceitação (FA), Correta Aceitação (CA), Falsa Rejeição (FR) e Correta Rejeição (CR). Obviamente, o primeiro e o terceiro resultados são erros (chamados de Tipo I e Tipo II, respectivamente), enquanto que o segundo e o quarto são aqueles visados. Através de manipulação do critério de decisão, as probabilidades relativas destes quatro resultados podem ser ajustadas de modo a refletir os seus custos e benefícios associados. Isto pode ser bem diferente em aplicações distintas. Num contexto de clientes, o custo de um erro FR pode exceder o custo de um erro FA, onde só o oposto pode ser verdadeiro em um contexto militar”.

Continuando, Daugman ressalta que: “É importante notar de imediato a inutilidade em se levar em conta qualquer estatística sobre a contagem de erros isoladamente ao se caracterizar o desempenho. Qualquer sistema arbitrário pode alcançar um grau de FR de 0 (apenas por aceitar todos os candidatos). A noção de “panorama de decisões” tem a finalidade de expor o grau que qualquer melhoria em um estado de erro deve ser paga com uma piora em outro. Este conceito facilita a definição de métrica ao quantificar a capacidade de se tomar decisões em um problema de reconhecimento, e isto

pode ser útil para se comparar abordagens biométricas distintas e entender o seu potencial”.

“A Figura 14 ilustra a idéia do panorama de decisões. As duas repartições representam os dois estados do mundo, que se encontram separados imperfeitamente. A abscissa é qualquer métrica de similaridade ou dissimilaridade; neste caso esta sendo a Distância de Hamming, a qual é definida como a fração de bits que se difere entre duas seqüências binárias dadas. Uma decisão de que ambas são exemplos de um mesmo padrão (ainda que em parte corrompido) ou de padrões completamente diferentes é feita ao se estabelecer alguns critérios de decisão para similaridade, como indicado pela linha pontilhada. Similaridade até certa Distância de Hamming (0,4 neste caso) é aceita como suficiente para se julgar os padrões como sendo o mesmo, no entanto, além desse ponto, os padrões são declarados distintos”.

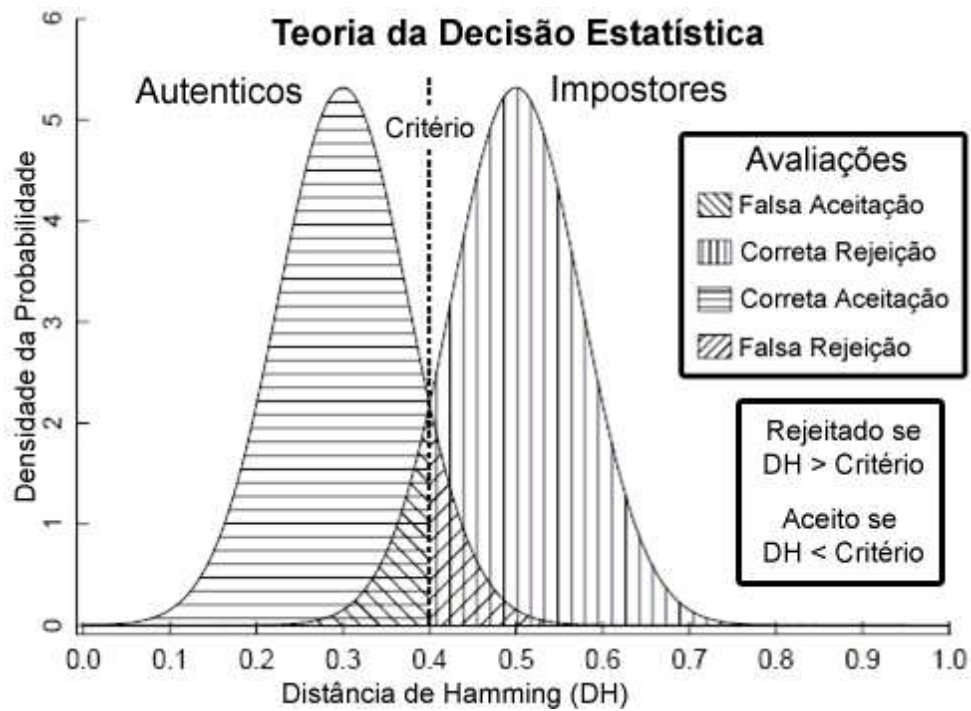


Figura 14 - Panorama de decisões:
Formulação geral para a tomada de decisões biométricas
Adaptado de: *Biometric decision landscapes*, Daugman. J. (2000)

Segundo John Daugman: “As chances de as sejam decisões corretas, ou não, correspondem conforme ilustrado na figura 14 às quatro áreas listradas que se encontram

sobre as distribuições de probabilidade em cada lado do critério de decisão. Fica claro que, movendo-se o critério de decisão para a direita ou esquerda (tornando-o mais liberal ou mais conservativo), serão mudadas as chances relativas dos quatro resultados possíveis. Também fica claro que a “capacidade de se tomar decisões” em um problema de decisão entre “Sim ou Não” é determinada pelo quanto de sobreposição há entre as duas distribuições. O problema se torna mais resolvível se os seus meios estão mais separados, ou se as suas variâncias são menores”.

No próximo capítulo, que descreve a metodologia de identificação da pupila, será mostrada a nova técnica para se encontrar na imagem de um olho, a borda do círculo pupila/íris, através de um procedimento que usa como idéia básica, a procura do centro de massa de uma superfície homogênea.

CAPÍTULO 4

Metodologia de Identificação da Pupila

4.1 Introdução

A fase de captura das imagens de olhos não foi implementada neste trabalho, sendo as imagens utilizadas cedidas pela *Chinese Academy Of Sciences - Institute Of Automation*, CASIA (2004). As imagens cedidas foram obtidas com videocâmaras monocromáticas CCD à distância aproximada de 30 cm, usando iluminação *NIR (near infrared)* na faixa de 700 a 900 nm. Todas as imagens utilizadas estão no formato *bitmap Windows®* de oito bits, com o tamanho de 320 pixels de largura por 280 pixels de altura, e estão armazenadas em tons de cinza numa escala de intensidade que varia de 0 (preto) a 255 (branco). A Figura 15 ilustra um exemplo de imagem do banco CASIA.

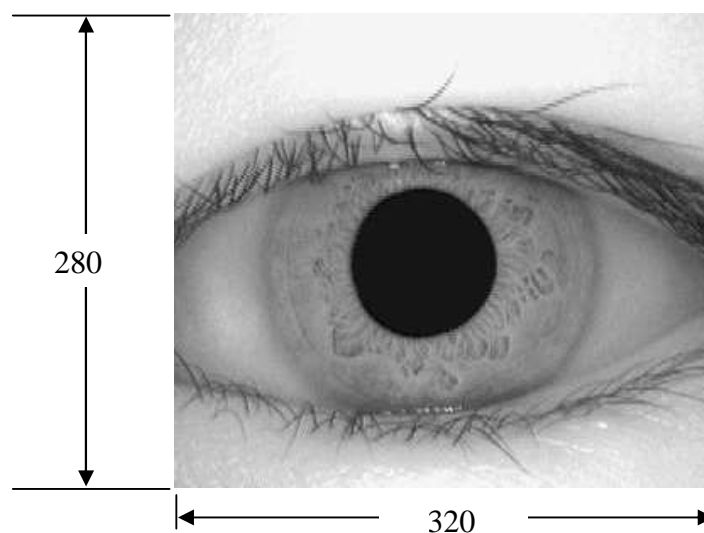


Figura 15 – Exemplo de imagem do banco de íris da CASIA.

A primeira providência a ser feita na fase de segmentação é a localização do ponto central da pupila, e logo após o raio da mesma. Isto é feito, utilizando-se a técnica da procura do centro de massa de uma superfície homogênea, que é uma técnica nova

desenvolvida neste trabalho e mais detalhadamente descrita, na seção 4.2. De posse deste centro, pode-se descobrir então o raio da pupila. E, portanto a técnica desenvolvida neste trabalho vem a substitui a transformada de Hough, Wildes, R. et al. (1994), que é usada na procura de uma circunferência, que passe pela borda entre a pupila e a íris.

4.2 Algoritmo usado para a identificação da pupila

Para se localizar a íris, deve-se antes encontrar as bordas da mesma. E, para tanto, é necessário em primeiro lugar descobrir a borda do círculo pupila/íris.

Como a pupila apresenta uma maior concentração de pixels com a coloração preta, busca-se identificar a região da imagem que apresente a maior concentração de pixels com tonalidades de cinza tendendo para o preto. Nas imagens cedidas pela CASIA, foram feitas leituras dos valores de cinza dos pixels contidos no interior da região das pupilas. Foi encontrado o valor 66 na escala de cinza, que vai de 0 a 255, como sendo o limiar para que um pixel pudesse estar contido na região da pupila podendo desta forma ser considerado preto.

Portanto, o método consiste em ler toda a matriz da imagem, armazenar a localização, em coordenadas (x, y) , dos pixels que tenham valor menor do que 66, porque esses valores são considerados como de cor preta e então calcular o centro de massa dos pixels armazenados (centro (x, y) , mostrado na Figura 16). Dadas às características da imagem na Figura 16, o centro da pupila coincide com o centro de massa, como é assinalado pela seta.

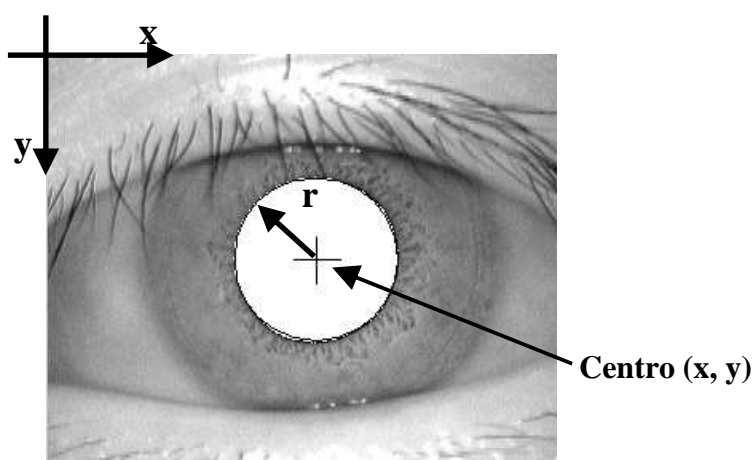


Figura 16 – Coordenadas do centro da pupila, são iguais as do centro de massa dos pixels de cor preta.

Portanto, o algoritmo irá varrer a matriz da imagem (Figura 16) em escala de cinza desde a linha zero ($y = 0$) até a linha que corresponde à altura máxima da imagem. E, então, para cada linha, cada um dos seus pixels no eixo x é lido procurando por pixels com valores menores que o valor limiar (neste caso, 66). Ao encontrar algum ponto que atenda a esta condição, os valores das suas coordenadas x e y serão somados em dois acumuladores independentes, um para os valores de x $\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)$ e o outro para os valores de y $\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)$, onde i é o elemento da matriz que atendeu à condição limite.

Em um terceiro acumulador, também é armazenado o número total n de pixels que atenderam a esta condição limite.

Ao terminar a leitura de todos os pontos da imagem, são divididos então, os valores acumulados de x_i e y_i pelo número total de pixels encontrados com a condição limite, obtendo-se assim um valor médio para x e para y .

$$x_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (n \neq 0) \quad (4)$$

$$y_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (n \neq 0) \quad (5)$$

Esses dois valores encontrados ($x_{\text{médio}}$ na Equação 4 e $y_{\text{médio}}$ na Equação 5) são na verdade as coordenadas (x, y) do centro de massa, isto é, o centro geométrico da pupila.

Caso existam pixels externos à pupila, que atendam à condição limite (valores de cinza menor que 66), como o da Figura 17 e da Figura 18 em que o centro de massa não corresponde exatamente ao centro geométrico da pupila, podendo estar deslocado tanto à direita como à esquerda, bem como acima ou abaixo da localização correta. Isto se deve ao fato de que os pixels dos cílios com valores na escala de cinza menores do que 66, assim como indicado pelas setas na Figura 17, deslocam o centro de massa para a direita do verdadeiro centro da pupila, ou, como pode ser visto na Figura 18, o desloca para cima.

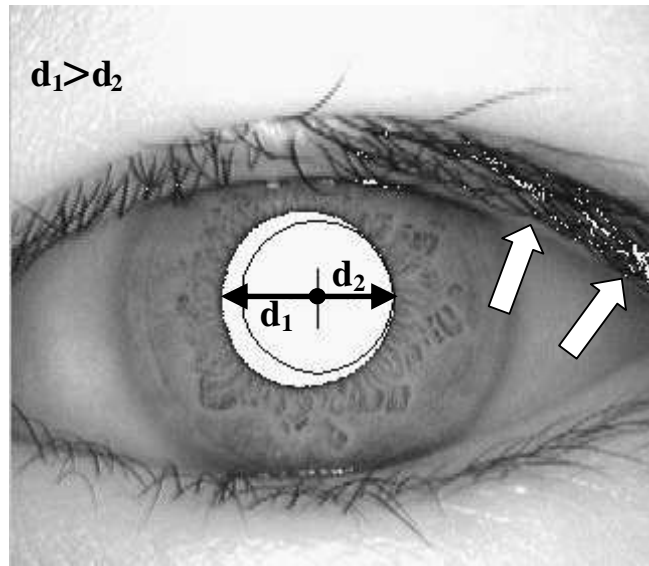


Figura 17 – Centro geométrico da pupila à esquerda do centro de massa.
As setas brancas mostram áreas em branco que causaram o desvio do centro de massa para a esquerda.

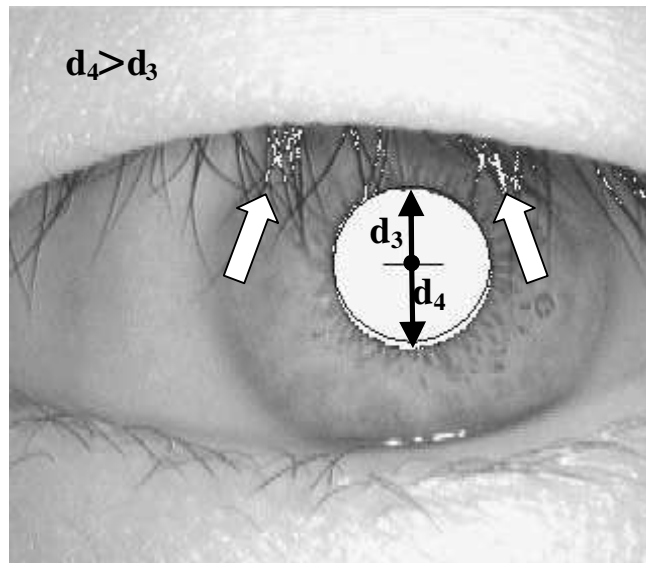


Figura 18 - Centro geométrico da pupila abaixo do centro de massa.
As setas brancas mostram as regiões em branco que causaram o desvio do centro de massa para cima.

Para avaliar se o centro de massa coincide ou não com o da pupila, basta descobrir se a circunferência obtida pelo algoritmo se encaixa com a margem do círculo formado pelos pixels da pupila que tendem ao preto. Esta verificação é feita contando-se o número de pixels com valor na escala de cinza menor do que 66 (em branco na Figura 17 e Figura 18), tanto para d_1 quanto para d_2 e, analogamente, para d_3 e d_4 .

Para isto, percorre-se a linha e a coluna do ponto do centro de massa encontrado, tanto nos sentidos esquerdo (d_1) e direito (d_2), quanto para cima (d_3) e para baixo (d_4), verificando o número de pixels com valores de cinza menores do que 66 para d_1 , d_2 , d_3 e d_4 . De posse desses valores (d_1 , d_2 , d_3 , d_4) pode-se então verificar se a posição do centro da pupila está correta ou não, pois:

- Se pelo menos três dos valores d_1 , d_2 , d_3 e d_4 forem iguais, implica que o centro de massa poderá ser considerado também o centro da pupila (Figura 16), pois que por três pontos é possível definir uma circunferência.
- Em caso contrário implica que o centro de massa não é centro da pupila (Figura 17 e Figura 18).

Então, para resolver o problema apresentado na Figura 17 ou Figura 18, executa-se posteriormente uma rotina de refino (ou aprimoramento). Esta consiste na aplicação do mesmo algoritmo anterior, porém agora analisando um pedaço menor da imagem, esperando-se não apanhar mais os pontos que alteraram o resultado anterior. A Figura 19 mostra uma imagem em que o centro de massa é determinado levando-se em consideração apenas a área da imagem, interior ao retângulo em branco visto na Figura 19. Em que a altura e a largura desta nova imagem, são reduzidas de 20% em relação às medidas da imagem anterior e centradas no centro de massa que foi encontrado. A Figura 20 apresenta um exemplo do resultado do refinamento desta nova área.

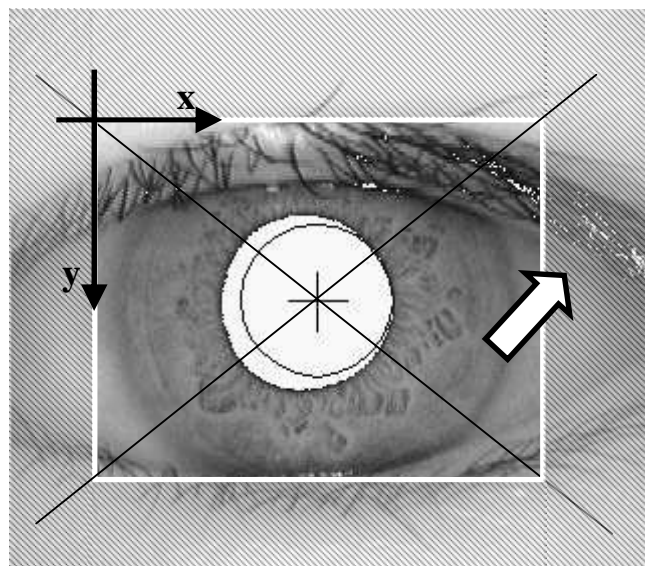


Figura 19 – Em destaque a nova área a ser varrida na procura do centro de massa. A seta mostra área em branco que causou o desvio do centro de massa.

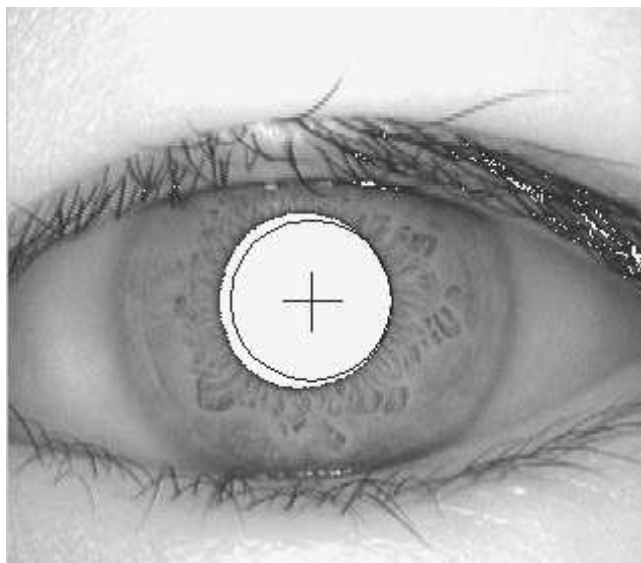


Figura 20 – Novo resultado na procura do centro de massa.

De acordo com a Figura 20, novamente o centro de massa não coincide com o centro da pupila. Conforme já exposto anteriormente, caso existam pixels externos à pupila que atendam à condição limite, é necessário um novo refino pelo mesmo método descrito acima, desta vez com a diferença de que a área da imagem (apresentada na Figura 21) a ser pesquisada será muito menor que a anterior (Figura 19).

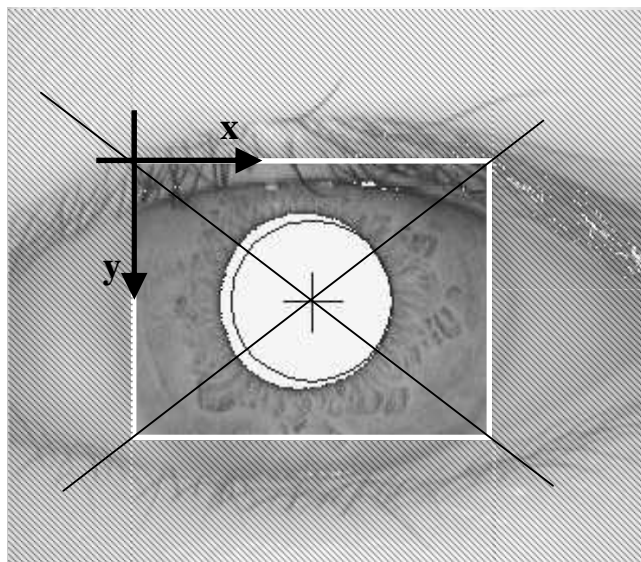


Figura 21 – Em destaque nova área a ser varrida à procura do centro de massa.

Realizando-se uma outra vez esta rotina de refino, levando-se em consideração apenas a área da imagem interior ao retângulo da Figura 21, obtém-se a Figura 22, que apresenta um novo resultado em que o centro de massa coincide com o centro da pupila.

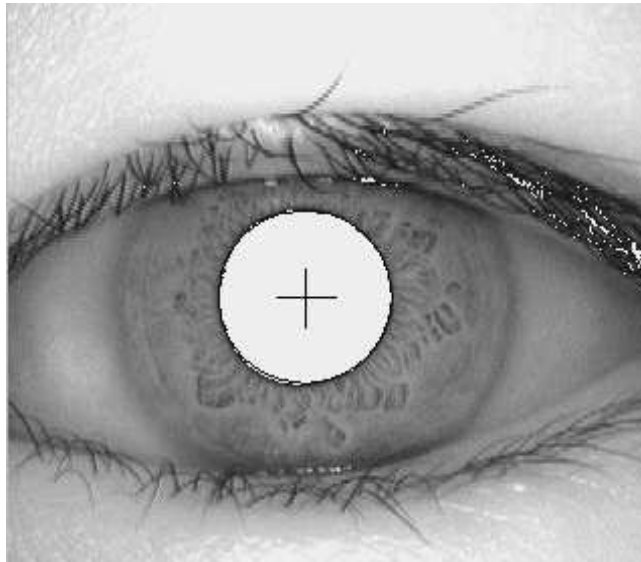


Figura 22 – Novo resultado, centro de massa igual ao centro geométrico da pupila.

Neste estágio, só os pixels da pupila têm os valores procurados, então o centro de massa coincide com o centro da pupila.

Assim, pode-se determinar o valor médio para x e também para y . Esses dois valores encontrados serão as coordenadas (x,y) do centro de massa, ou seja, o centro geométrico da pupila.

O resultado aqui encontrado é o passo inicial para se realizar a segmentação da íris, e será usado no próximo capítulo onde a segmentação da íris propriamente dita é descrita em detalhes.

O algoritmo para a detecção do centro de massa é descrito pelo fluxograma da Figura 23; o algoritmo acima chamado de “refino” vem a ser o mesmo algoritmo de busca do centro de massa. Com a única diferença de que a matriz da imagem é sempre reduzida de 20% nas suas dimensões e centralizada no ponto (x,y) do centro de massa encontrado a cada vez em que é feita uma nova leitura dos valores dos pixels.

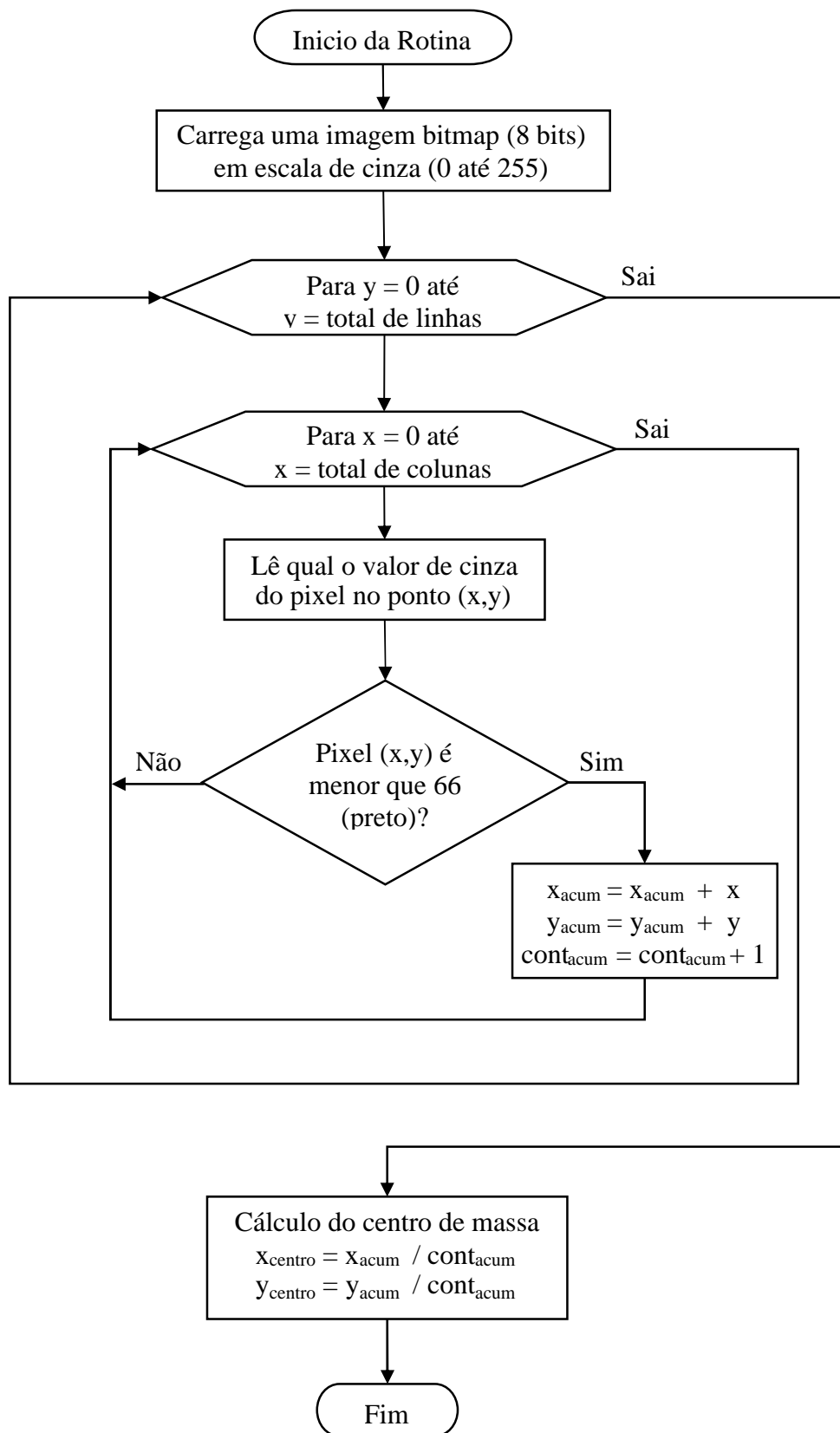


Figura 23 – Fluxograma do algoritmo para encontrar o centro geométrico da pupila.

Este método para a localização da pupila é invariante à rotação e a posição, ou seja, independe do ângulo, posição, tamanho da imagem ou tamanho da pupila. O centro desta última e a circunferência que tangencia o limite pupila com a íris são encontrados conforme mostrado nos exemplos da Figura 24 (a, b, c).

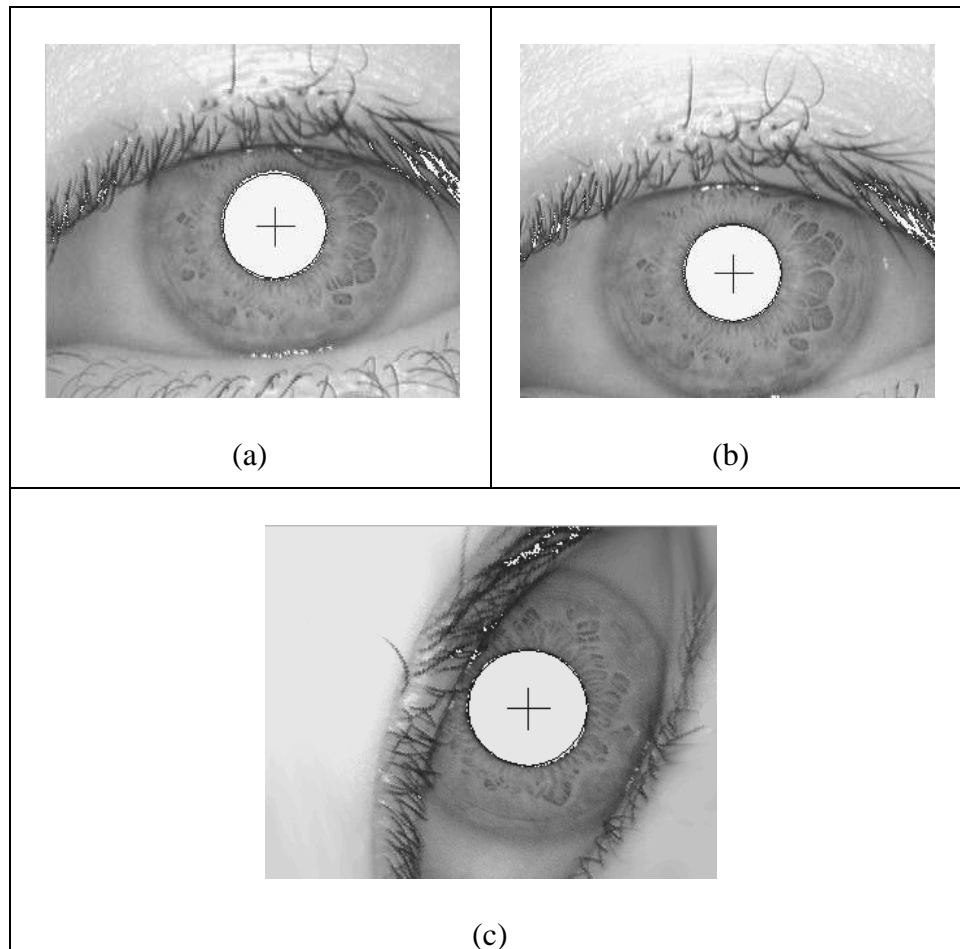


Figura 24 – (a, b, c) Nas figuras, pode-se ver que método é invariante à rotação ou translação da imagem.

Assim, nesta etapa do sistema, em que se procura localizar a pupila em uma imagem de olho, o algoritmo aqui empregado, baseado na procura pelo centro de massa é mais simples que a aplicação da transformada de Hough, tornando-se, conseqüentemente mais veloz computacionalmente do que o algoritmo de Hough, Wildes, R. et al. (1994).

Portanto, de posse do algoritmo descrito neste capítulo, será apresentada no próximo capítulo a metodologia usada para a segmentação da íris, em que este algoritmo é empregado no passo inicial da fase de segmentação, ao invés da transformada de Hough, usualmente empregada para este passo.

CAPÍTULO 5

Metodologia de Segmentação da Íris

5.1 Introdução

No presente trabalho, ao invés de se adquirir na segmentação toda a região da íris, deverá ser aproveitado apenas uma pequena fração da mesma, formada pela intersecção entre duas circunferências e limitada em um ângulo de sessenta graus (ver a região mais escura ilustrada na Figura 25). Evitam-se assim as porções da íris que normalmente estão cobertas por cílios ou pálpebras.

Para a aplicação da técnica de segmentação da íris proposta neste capítulo, é necessário que se realize inicialmente o processo de identificação do centro geométrico da pupila (explicado no capítulo 4) procedendo-se então à rotina que executará de fato a segmentação da seção de interesse.

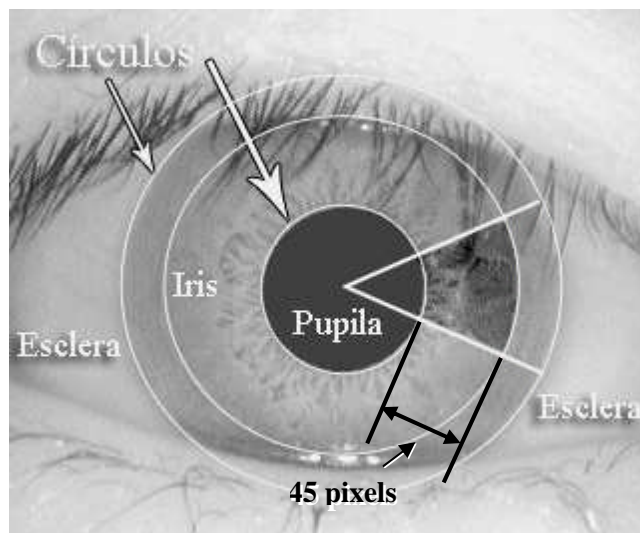


Figura 25 – Em tom mais escuro o pedaço íris que é lido na segmentação.

5.2 Algoritmo para a segmentação da íris

Para a segmentação da íris, foi utilizada a leitura de quarenta e cinco circunferências concêntricas, cujos centros coincidem com o centro geométrico encontrado para a pupila. Essas circunferências de leitura partem da margem interna da íris (de raio igual ao da pupila mais um pixel) e variam até um raio igual ao da pupila mais quarenta e cinco pixels. Lendo-se deste modo todos os pixels da íris, que são pertencentes à região de interesse, mostrados em tom mais escuro em destaque na Figura 25 e 26.

Não é necessário ler todos os pixels da imagem da íris até o limite entre esta e a esclera, pois em testes já realizados verificou-se que a leitura dos pixels de quarenta e cinco circunferências era o suficiente para realizar o reconhecimento do padrão de íris de um indivíduo. Também foi observado que na medida em que nos aproximamos da borda íris/esclera os padrões são menos presentes. Por estes motivos é que se faz apenas a leitura de quarenta e cinco circunferências concêntricas da íris com um pixel de espessura cada, possibilitando um número suficiente de dados para serem usados na formação de um segmento padrão na identificação.

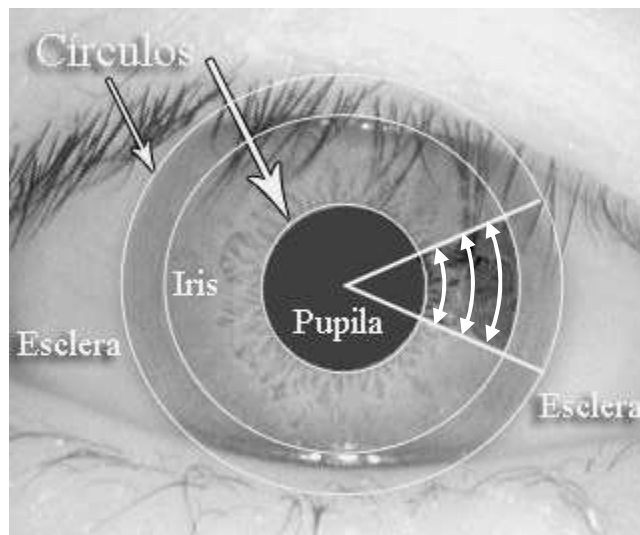


Figura 26 – Lê pixels em circunferências concêntricas, para ler uma seção da íris.

Na segmentação aqui proposta é feita a captura do trecho da íris como descrito acima, que vem a produzir a imagem mostrada na Figura 27. Contudo, esta imagem deverá ser transformada em uma imagem como a apresentada na Figura 28 (b), que aqui é chamada de imagem “retificada”, para retirar-se o padrão da íris.

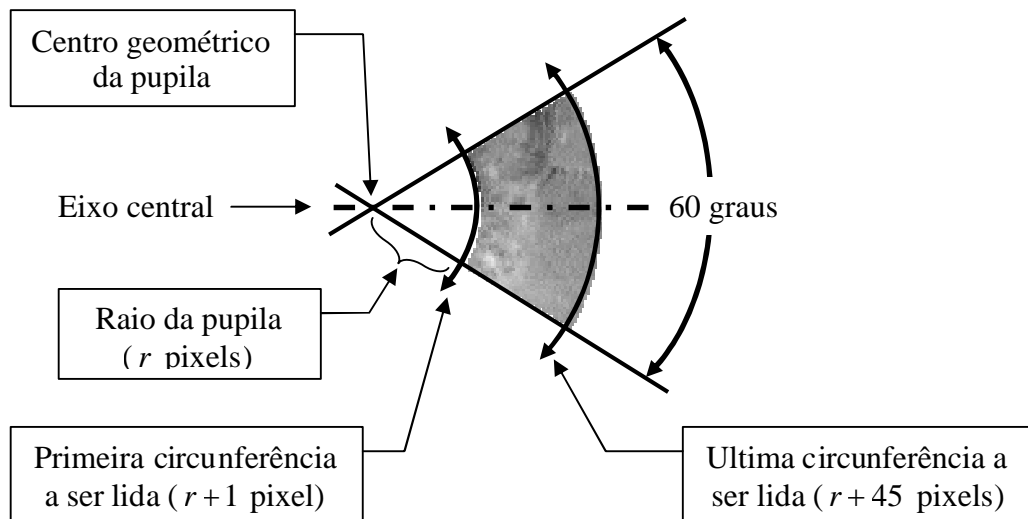


Figura 27 – Seção da íris, que é lida por circunferências concêntricas.

Essa “retificação” vem a ser a distribuição em retas dos pixels lidos pelas respectivas circunferências concêntricas, ou seja, os pixels lidos por cada seção de circunferência dão origem a novos segmentos de reta constituídos destes mesmos pixels.

A Figura 28 exemplifica como é feita esta transformação, que gera uma nova imagem aqui chamada de retificada (Figura 28 (b)).

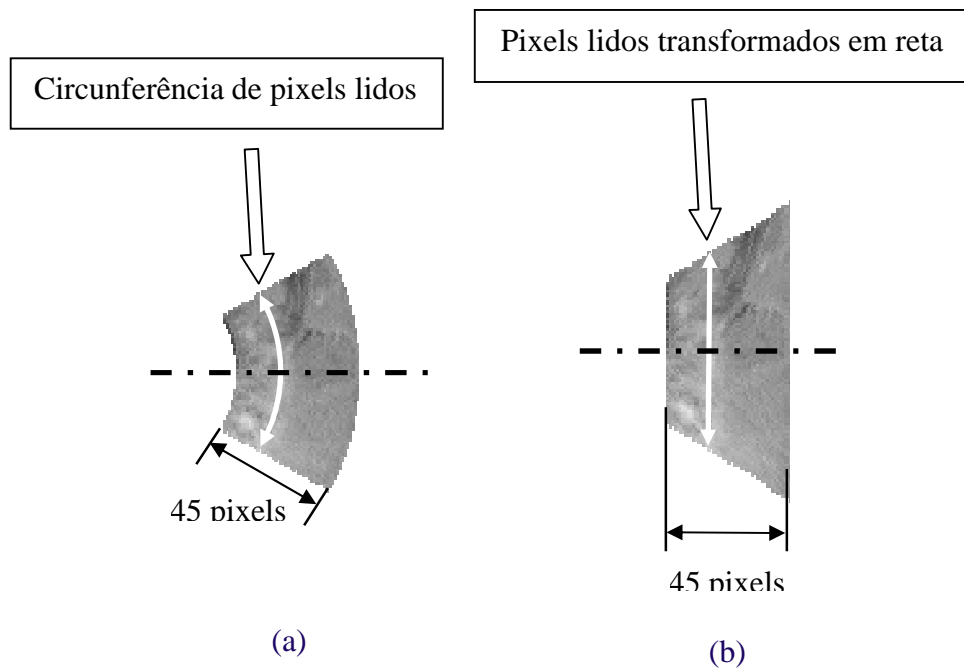


Figura 28 – (a) setor da íris lido e (b) setor da íris retificado.

De posse da imagem retificada, é selecionado da mesma apenas um pedaço visto na parte escura da Figura 29, com uma altura de quarenta e cinco pixels por uma largura de quarenta e cinco pixels, perfeitamente centrado na imagem retificada.

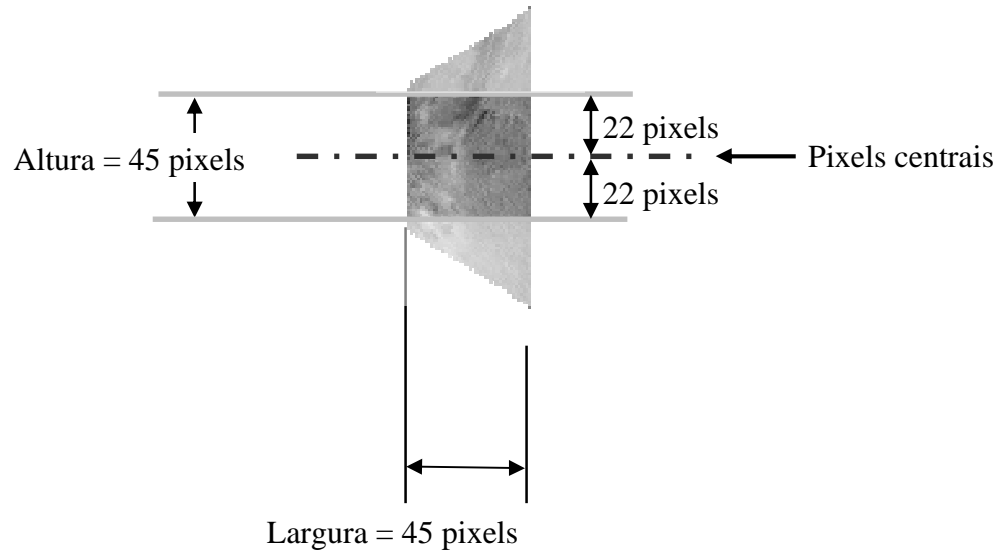


Figura 29 – Seleção da seção central do setor retificado da íris.

O resultado final desta segmentação da íris é o mesmo que deverá ser usado como um padrão de íris, para ser usado na identificação de padrões. É uma imagem que tem quarenta e cinco pixels de altura por quarenta e cinco pixels de comprimento, conforme pode ser visto na Figura 30 e mais detalhadamente na Figura 31.

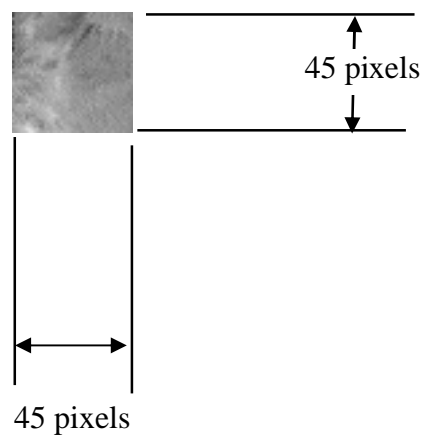


Figura 30 – Região de interesse do setor retificado da íris (padrão da íris).

Na Figura 31 é mostrada mais detalhadamente a matriz de 45 pixels por 45 pixels com os valores em escala de cinza da imagem, na faixa de 0 a 255. Portanto os 2025 valores desses pixels é que serão considerados como a característica de um indivíduo (padrão da íris).

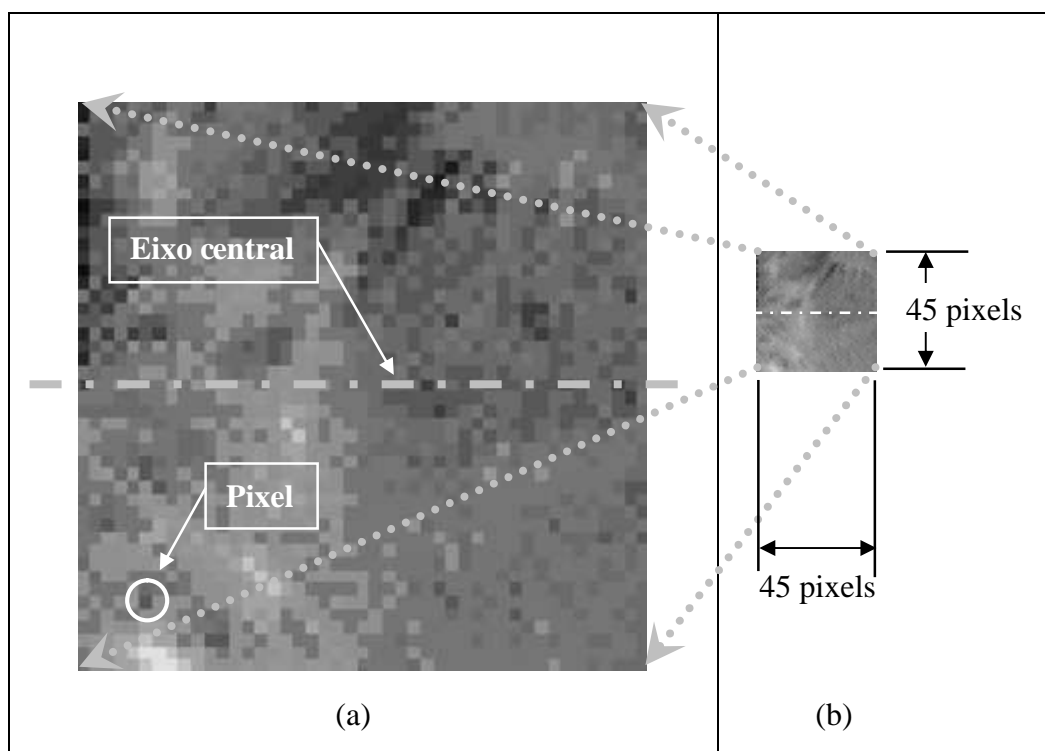


Figura 31 – (a e b) Região de interesse utilizado para aquisição dos valores da íris.
(a) Ampliação do pedaço (aparecendo os pixels como pequenos quadrados).

Após o sistema de identificação completar a leitura dos tons de cinza presentes no pedaço central do setor retificado da íris de um indivíduo (Figura 31), essa matriz de valores de cinza, poderá ser guardada em um banco de dados. Este banco conterá os segmentos de íris de cada indivíduo para que se possa fazer o procedimento de identificação de uma pessoa, buscando essas informações (valores de 0 a 255 em matrizes 45 x 45, aqui chamado de padrão) no banco de dados.

Com os padrões conseguidos através dos procedimentos já descritos, no próximo capítulo entraremos em uma outra etapa, ou seja, a descrição da metodologia utilizada para a identificação de padrões da íris.

CAPÍTULO 6

Metodologia para a Identificação de Padrões da Íris

6.1 Introdução

Utilizando a metodologia descrita nos capítulos anteriores é possível segmentar a íris a fim de se gerar como resultado uma matriz quadrada, proveniente do pedaço quadrado central do setor retificado da íris de um indivíduo, visto na Figura 31. O sistema de identificação aqui apresentado realiza a leitura dos tons de cinza presentes neste quadrado e os utiliza como padrão. São esses valores obtidos que irão caracterizar cada indivíduo.

Nesta fase, o método proposto busca usar o coeficiente de correlação para resolver o problema de identificação. Em estatística, o coeficiente de correlação é a medida normalizada da força da relação linear entre duas variáveis, onde os dados inteiramente não correlacionados resultam em um coeficiente de correlação igual a zero e os perfeitamente correlacionados têm um coeficiente de correlação igual a um. Pois o coeficiente de correlação entre os padrões de íris sempre são positivos.

6.2 Algoritmo de identificação de padrões da íris

O algoritmo aqui utilizado para fazer a identificação de um indivíduo através da íris, emprega o coeficiente de correlação como instrumento.

Assim, durante uma identificação, ou seja, a tentativa de se descobrir se determinada pessoa pertence ao banco de íris ou não, são feitas comparações entre o padrão de íris dessa pessoa com todos os outros padrões gravados no banco de dados, através do uso do coeficiente de correlação usado na estatística.

Esta comparação é feita entre as matrizes dos valores de cinza, que é o resultado das segmentações das imagens de íris, usando a Equação 6. Onde $A_{i,j}$ representa os elementos de uma matriz ($m \times n$) cujos elementos são os valores de cinza de um padrão e $B_{i,j}$ os elementos da matriz ($m \times n$) de outro padrão com que se quer comparar. Obtém-se então o coeficiente de correlação (r) entre as duas matrizes de mesmo tamanho usando a formula.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{i,j} - \bar{A})(B_{i,j} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A_{i,j} - \bar{A})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (B_{i,j} - \bar{B})^2 \right)}} \quad (6)$$

$A_{i,j}$ é um elemento da matriz A e $B_{i,j}$ é um elemento da matriz B .

\bar{A} é a média dos elementos da matriz A , calculada por:

$$\bar{A} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{i,j} \quad (A_{i,j} \text{ é um elemento da matriz } A) \quad (7)$$

\bar{B} é a média dos elementos da matriz B , calculada por;

$$\bar{B} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{i,j} \quad (B_{i,j} \text{ é um elemento da matriz } B) \quad (8)$$

E o resultado da Equação 6 dá um valor compreendido entre um e menos um ($-1 \leq r \leq 1$) e o seu significado pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Significado dos valores do coeficiente de correlação.

Valor de r	Correlação
1	Perfeita
0	Nenhuma
-1	Perfeita (invertida)

A seguir, é apresentado o capítulo intitulado sistema de identificação pessoal por íris, que mostra o algoritmo do sistema de identificação por íris que possui oito passos, e também a descrição de como funciona o programa computacional desenvolvido.

CAPÍTULO 7

Sistema de Identificação Pessoal por Íris

7.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o algoritmo de identificação pessoal por íris utilizando o conceito de centro de massa para detecção da pupila, na fase de segmentação e uso do coeficiente de correlação na fase de identificação. Tal abordagem tornou o sistema de identificação mais simples quando comparado aos que atualmente são encontrados na literatura.

7.2 Algoritmo do sistema de identificação por íris

O algoritmo desenvolvido para a identificação pessoal por íris segue os seguintes passos:

1º Passo - O algoritmo se inicia ao ler a imagem de um olho em escala de cinza.

2º Passo - Localiza-se o centro geométrico da íris na matriz da imagem, como sendo o centro de massa dos pixels de valores entre 0 e 66 na escala de cinza que vai de 0 a 255.

3º Passo - Com o centro que já foi encontrado no passo anterior, determina-se a circunferência de raio que parte deste centro até a fronteira pupila/íris. É verificado se esta circunferência encontrada demarca exatamente a fronteira pupila/íris; e, em caso negativo, diminui-se o tamanho da matriz da imagem (centrando esta nova matriz no pixel encontrado como centro de massa) e retorna-se ao segundo passo.

4º Passo - Inicia-se a leitura dos pixels da imagem que pertencerem às circunferências concêntricas de raio, em pixels, igual ao da circunferência que demarca a fronteira pupila/íris mais um, até se obter um número total de 45 circunferências lidas. Contudo, essa leitura só é feita em um ângulo de 60 graus, conforme mostrado na Figura 27, 30 graus no sentido horário e 30 graus no sentido anti-horário a partir da linha do eixo central que passa pelo centro da pupila. Na medida em que são lidos os valores dos pixels nos círculos, é gravada uma matriz com esses mesmos valores encontrados, onde cada novo raio corresponde a uma nova coluna da matriz.

5º Passo - De posse dessa matriz, que é o setor lido da íris e retificado (Figura 28 (b)), é tomada uma região de 45 pixels por 45 pixels da parte central desta, como mostrado na Figura 29. Como resultado deste passo, teremos uma matriz semelhante a da Figura 30 e 31 que virá a ser o padrão em si do indivíduo.

6º Passo - Neste passo, duas alternativas podem ser tomadas:

- 1º - Fazer com que o padrão obtido no quinto passo seja armazenado no banco de dados de padrões, e assim finalizar o algoritmo.
- 2º - Prosseguir para o sétimo passo.

7º Passo - Percorrer o banco de dados fazendo o cálculo de correlação entre o padrão de íris do indivíduo que acaba de ser lido e os demais existentes no banco de dados, sempre guardando o maior coeficiente de correlação obtido e o nome que corresponda ao padrão desta pessoa no banco de dados. Feito isso, prossegue-se ao oitavo passo.

Observação: Se em algum momento neste passo for encontrada uma correlação de valor 1 (a mais alta correlação), deve-se mostrar então o nome da pessoa e terminar sumariamente a procura, finalizando o algoritmo. Este procedimento pode acelerar o algoritmo em bancos de dados muito vastos.

8º Passo - Último passo; a esta altura já se tem o provável nome da pessoa e o maior valor de coeficiente de correlação encontrado. Se este coeficiente for maior ou igual do que um limite pré-estabelecido como mínimo admissível para que se confirme uma identificação, pode-se dizer que a pessoa foi encontrada e então revelar o nome desta. Caso o coeficiente seja menor, a pessoa será dada como não identificada. Para ambos os casos, em seguida o algoritmo é finalizado.

7.3 Rotina computacional

As rotinas computacionais foram codificadas na linguagem C++ usando o programa Borland® C++ Builder™ 6.0 e o sistema operacional Microsoft® Windows XP 5.1. A máquina empregada foi um Pentium 3, com placa mãe de 600 MHz e 384 Mb de memória RAM..

O programa do sistema de identificação de íris inicia com a tela apresentada na Figura 32.

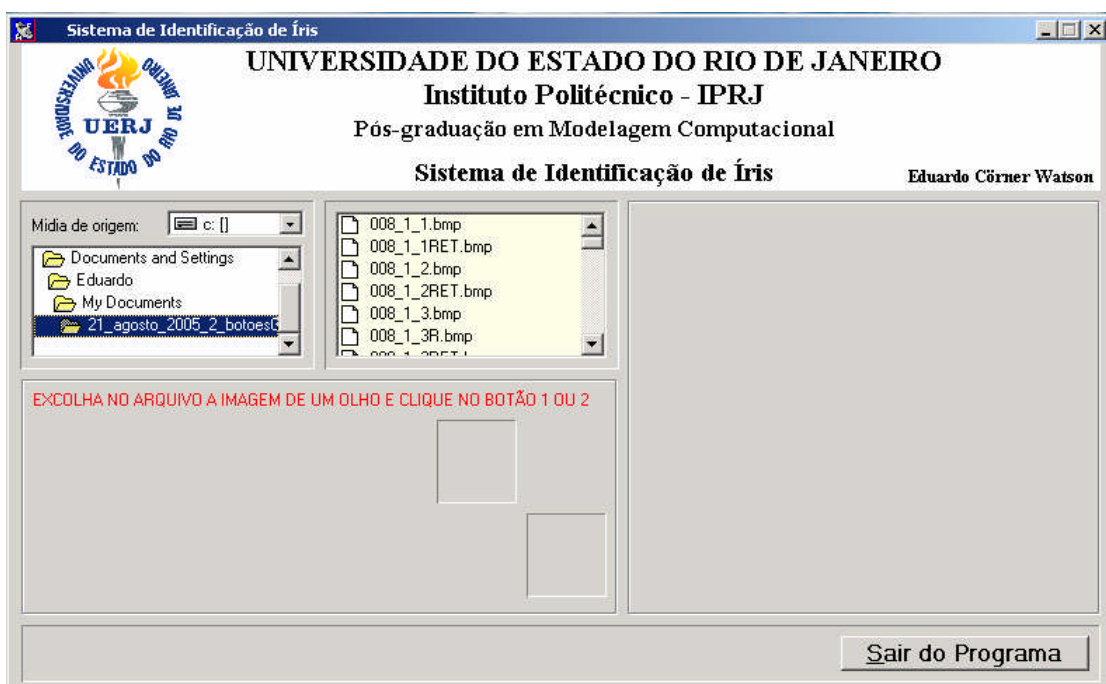


Figura 32 – Tela inicial do programa do Sistema de Identificação de Íris.

Durante toda a execução do programa é possível sair do mesmo, sendo que para tanto é necessário confirmar em uma caixa de confirmação de saída do programa (ver Figura 33).

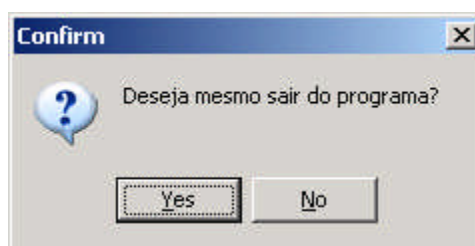


Figura 33 – Caixa para confirmação de saída do programa.

Iniciado o programa, seja para a gravação ou para a identificação de um padrão de íris, deve ser selecionada a mídia de onde será obtida, a imagem bitmap de um olho com tamanho de 320 pixels por 280 pixels (Figura 34).

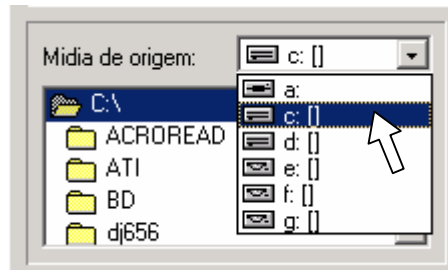


Figura 34 – Detalhe da parte de seleção da mídia.

Logo após seleciona-se em qual pasta deverá ser obtida a imagem bitmap (Figura 35). Se for selecionada uma pasta que contenha imagens bitmap, elas serão mostradas no retângulo ao lado.

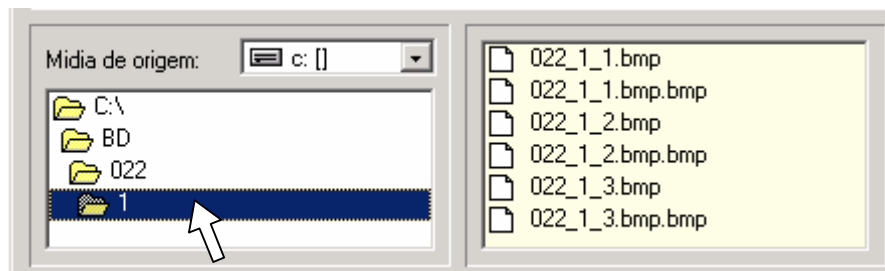


Figura 35 – Detalhe da seleção da pasta.

Aberta a pasta que contenha imagens bitmap, elas aparecerão ao lado, como mostra a Figura 35. Deve-se então selecionar alguma imagem conforme mostra a Figura 36.

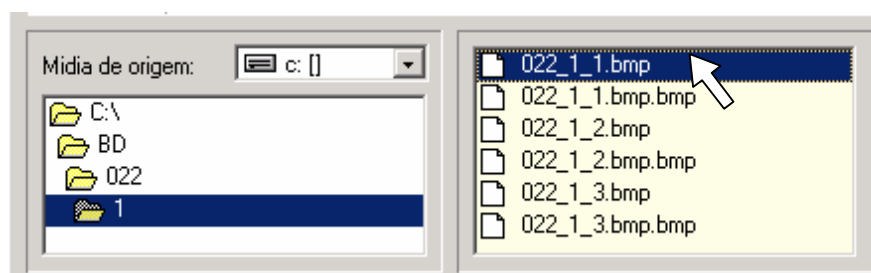


Figura 36 - Seleção da imagem.

Ao se “clicar” no nome da imagem que se deseja (como mostrado na Figura 36) irá parecer na tela do programa em um campo ao lado direito (como apresentado na Figura 37) a imagem selecionada. Neste momento então é calculado o padrão da íris sendo possível visualizá-lo. O padrão de íris da imagem escolhida é mostrado por uma seta grande na Figura 37.

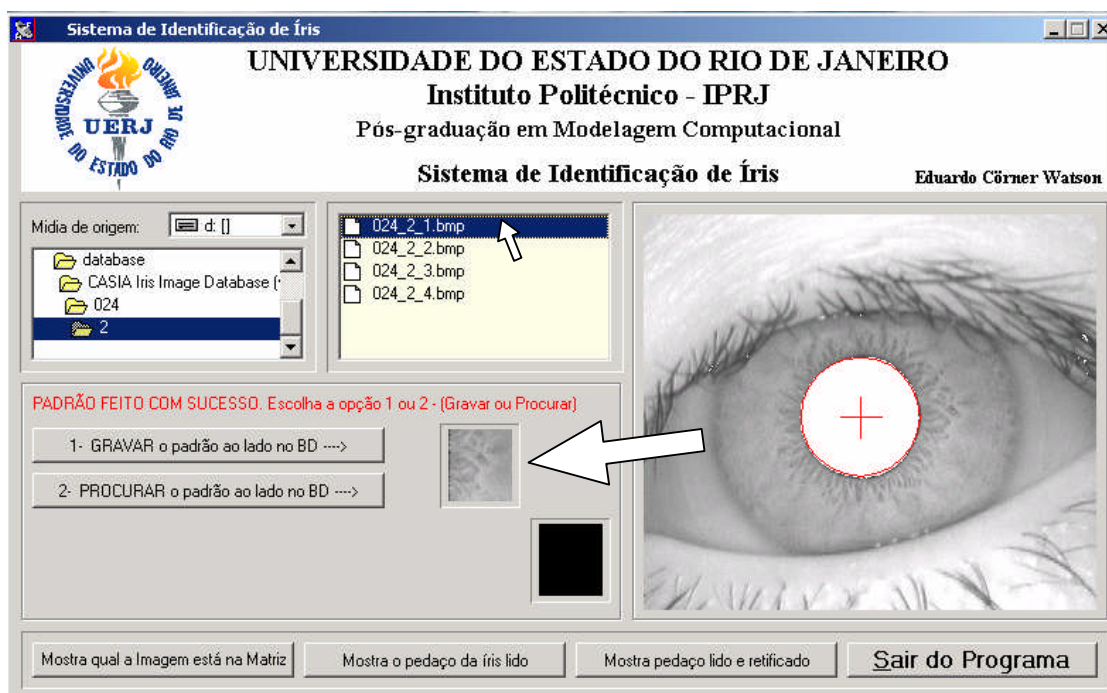


Figura 37 – A imagem selecionada é apresentada do lado direito.
Padrão da íris dessa imagem é mostrado pela seta.

Neste ponto, deve ser escolhida uma das duas opções, oferecidas por dois botões que se localizam ao lado do padrão encontrado:

- 1º Opção- Gravar o padrão obtido em um banco de padrões.
- 2º Opção- Compará-lo com outros padrões que já estejam no banco de padrões.

Se a opção desejada for a primeira deve ser clicado o botão “1 - Gravar padrão ao lado no BD→” (Figura 38), ao final da função de gravar o padrão, aparecerá em vermelho uma frase, localizada acima deste botão, indicando que o padrão foi gravado.

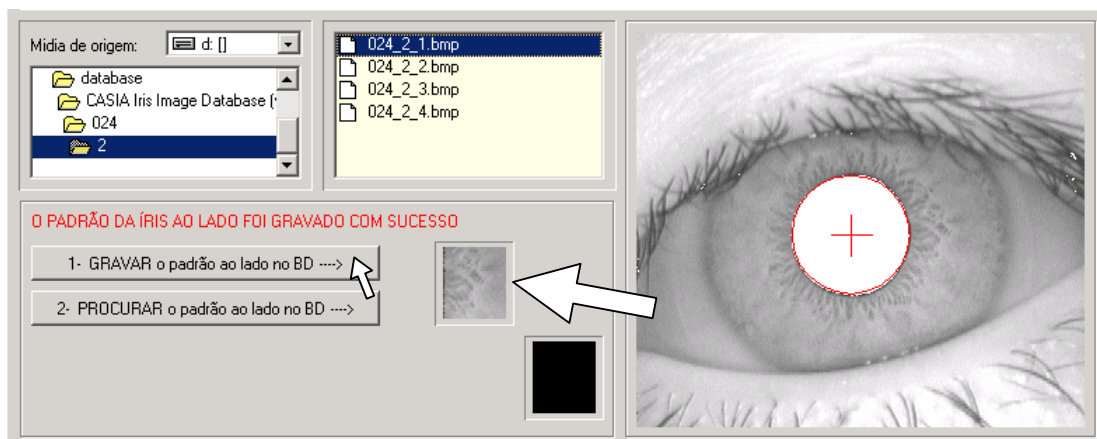


Figura 38 - Clicando em; Gravar o padrão ao lado no BD.
A seta mostra o padrão da íris que foi feito, e que poderá ser gravado.

Optando pela segunda opção “2 – Procurar padrão ao lado no BD→” (Figura 39) teremos o procedimento de cálculo de coeficiente de correlação entre os padrões do banco com o padrão encontrado, comparando com o valor do critério de aceitação de uma identificação positiva ou não.

A seta na Figura 39 mostra o campo onde aparece a imagem do padrão encontrado no BD, que é mais próximo do padrão da imagem que foi segmentada.



Figura 39 - Clicando em; Procurar padrão no BD.
Seta mostra padrão de íris encontrado no BD, que é mais parecido.

O resultado de uma identificação positiva (Figura 39), ou seja, padrão encontrado como pertencente ao banco de dados de padrões de íris. Retorna os resultados em cor verde tanto no valor do coeficiente de correlação como o “nome” (neste trabalho um número) e a frase indicando “aceito”, conforme indicado na Figura 40 que é um detalhe da imagem Figura 39.

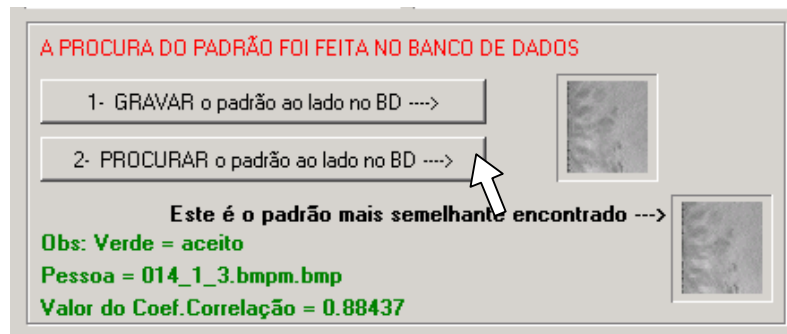


Figura 40 – Detalhe da imagem da Figura 39.

Na aceitação de um indivíduo, os resultados são impressos em verde, mostrando inclusive o valor da alta correlação entre os padrões, caso contrário, os resultados serão impressos em vermelho (Figura 41).

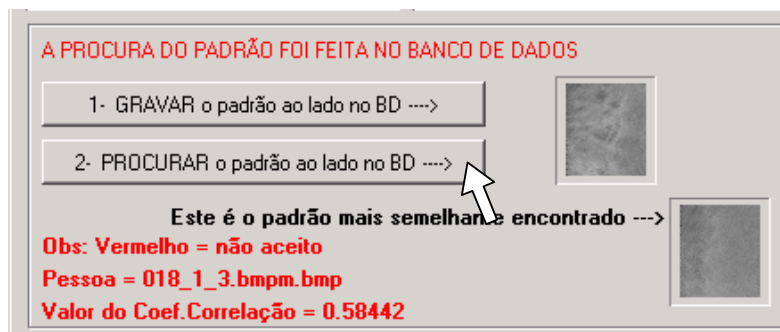


Figura 41 – Detalhes de um resultado da não aceitação de padrão de íris.

Neste programa, além do resultado de não aceitação de um indivíduo ser impresso em vermelho, também a imagem é circundada de uma moldura vermelha (ver setas largas apontando), mostrando o baixo valor de correlação entre os padrões também em vermelho (ver a Figura 42).

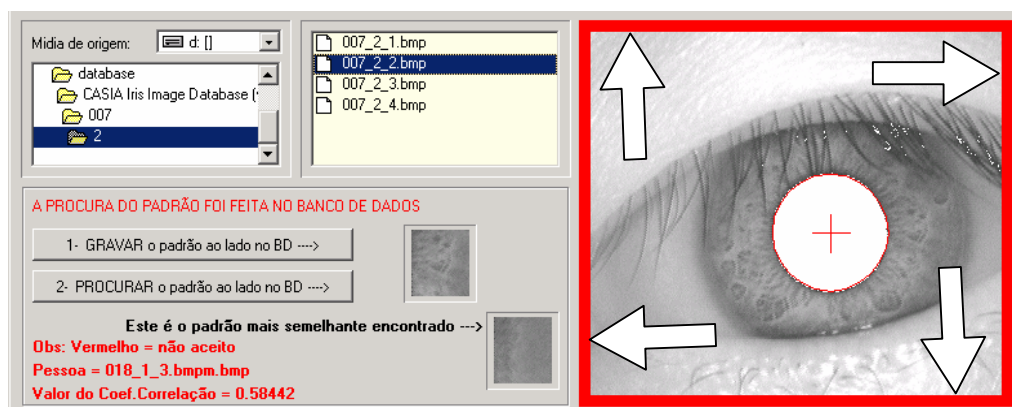


Figura 42 – Um resultado da não aceitação de um indivíduo.

O programa torna possível também, a partir do momento em que já foi lido todo o segmento da íris, visualizá-lo (ver Figura 43).

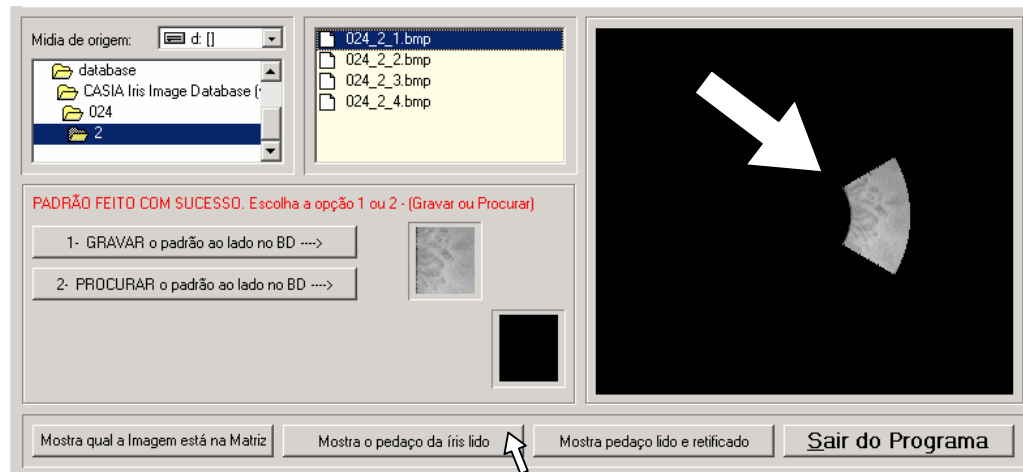


Figura 43 – Mostrando segmento da íris que foi lido.

É possível também, visualizar a segmento já “retificado” (ver Figura 44).

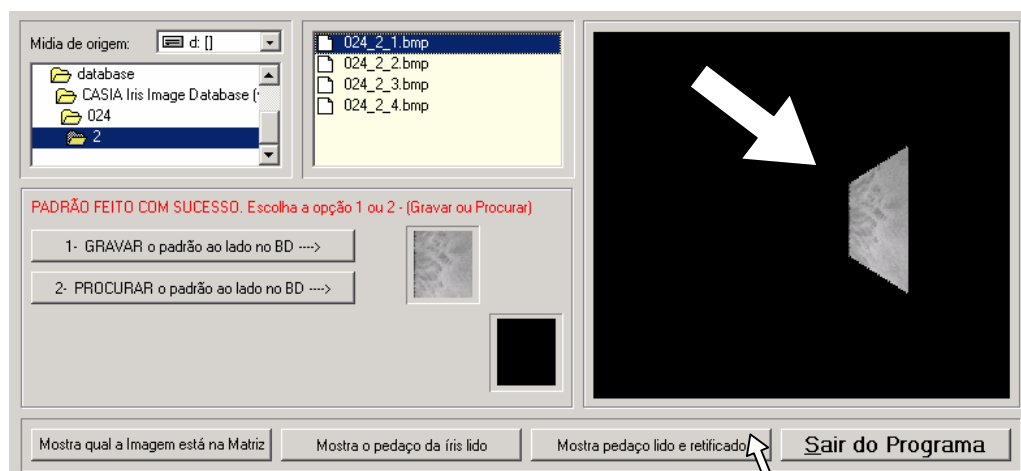


Figura 44 - Mostrando segmento da íris que foi lido e “retificado”.

O valor do coeficiente de correlação usado na decisão de aceitação ou rejeição de uma íris é crítico conforme está explicado na seção 3.6.1 (Teoria da Decisão Estatística). Na versão final deste algoritmo, o valor para o coeficiente de correlação atribuído e usado como o limite entre, correlacionado ou não, foi de 0,65.

O capítulo seguinte trata dos resultados e conclusões. Foi organizado com base no estudo de casos do banco de imagens cedido pela CASIA (2004).

CAPÍTULO 8

Resultados e Conclusões

8.1 Introdução

Para a validação do método, foram realizados testes utilizando 160 imagens do banco de imagens de olhos da CASIA (2004). Essas imagens estão armazenadas da seguinte forma; cada pasta numerada referente a uma pessoa, possui duas pastas (1 e 2) na pasta de número um existe três imagens e na pasta dois quatro, que completam sete imagens de olhos esquerdos de um mesmo indivíduo, sendo que todas as figuras são diferentes entre si, ou seja, imagens tomadas em diferentes tempos. Os padrões das imagens de íris guardados no banco quando comparadas com os mesmos olhos de onde os padrões foram retirados, terão sempre o coeficiente de correlação de valor igual a um. A pasta que serviu para se fazer os padrões foram as imagens da pasta um, assim sendo essas três imagens é que geraram três padrões para cada indivíduo. Portanto os testes aqui feitos não usaram os olhos que são idênticos aos do padrão.

O valor do coeficiente de correlação usado na decisão de aceitação ou rejeição é crítico conforme é explicado na seção 3.6.1 (Teoria da Decisão Estatística), onde são abordados os problemas de Falsa Aceitação (FA), Correta Aceitação (CA), Falsa Rejeição (FR) e Correta Rejeição (CR).

Portanto, durante a confecção do programa deste sistema de identificação, foram testados vários valores para a escolha do que poderia ser o melhor coeficiente de correlação para ser usado como o limite entre a aceitação ou não de um indivíduo. Por fim, foi escolhido como critério de aceitação de um indivíduo os valores superiores ao coeficiente de correlação de valor 0,65, e os inferiores a este valor para a não aceitação. Este valor é o ponto de interseção das curvas apresentadas na Figura 49.

8.2 Testes com íris que estão no BD

Nos testes feitos neste trabalho, foram apanhadas as imagens da pasta dois do banco CASIA, evitando assim o problema explanado na introdução deste capítulo.

De acordo com John Daugman (2000), podem ocorrer duas possibilidades com as imagens em que os padrões de íris dos indivíduos estão no banco; a Correta Aceitação (CA), como mostrado na Figura 45 e a Falsa Rejeição (FR) na Figura 46.

A Figura 45 mostra que foi encontrado um coeficiente de correlação igual a 0,87118, ou seja, superior a 0,65. Portanto uma ocorrência de correta aceitação.



Figura 45 – Um exemplo de Correta Aceitação (CA).

A Figura 46 mostra que foi encontrado um coeficiente de correlação igual a 0,60393, ou seja, inferior a 0,65. Portanto uma ocorrência de falsa rejeição.

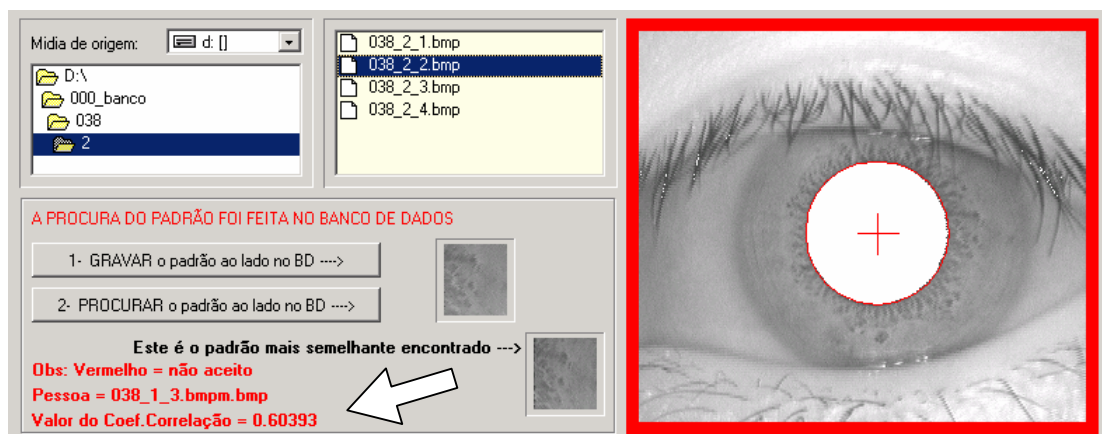


Figura 46 - Um exemplo de Falsa Rejeição (FR)

8.3 Testes com íris que não estão no BD

Nos testes feitos, com as imagens em que os padrões de íris dos indivíduos não estão no banco, temos novamente duas possibilidades; Correta Rejeição (CR) como mostra a Figura 47 e a Falsa Aceitação (FA) na Figura 48.

A Figura 47 mostra que foi encontrado um coeficiente de correlação igual a 0,59128, ou seja, inferior a 0,65. Portanto uma ocorrência de Correta Rejeição.

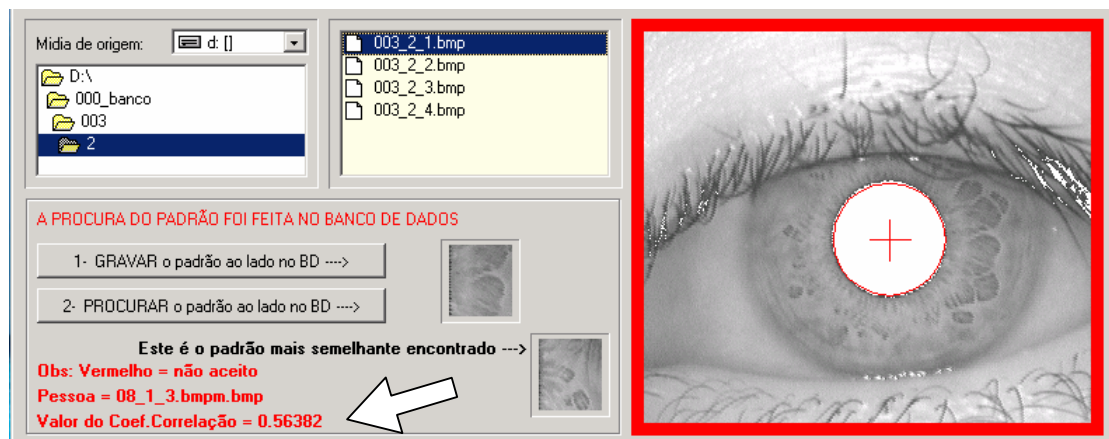


Figura 47 - Um exemplo de Correta Rejeição (CR).

A Figura 48 mostra que foi encontrado um coeficiente de correlação igual a 0,76955, ou seja, superior a 0,65. Portanto uma ocorrência de falsa aceitação.

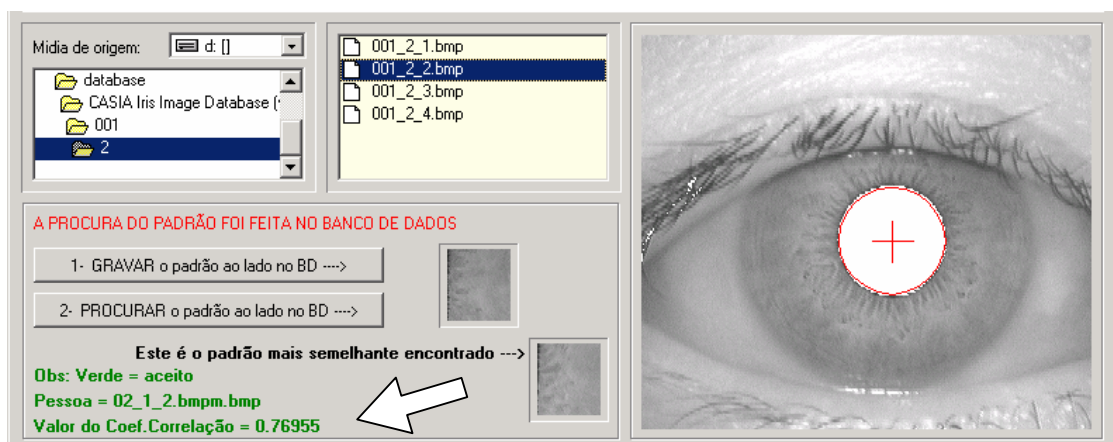


Figura 48 – Um exemplo de Falsa Aceitação (FA).

8.4 Considerações sobre os resultados

Os resultados obtidos se mostram satisfatórios. Foi feito um estudo com os valores de correlação encontrados nas tentativas de identificação, tanto para pessoas cadastradas como para não cadastradas. Esses valores foram colocados em um gráfico (Figura 49), que apresenta as populações dos valores de coeficientes de correlação encontrados (histograma). Para tanto foram usados cento e sessenta valores representando as pessoas, sendo que oitenta já tinham o cadastro no banco e as outras oitenta não.

Na população de cadastrados (80 pessoas) o coeficiente de menor valor que foi encontrado é 0,43 e o de maior valor 0,87. Enquanto que, na população de não cadastrados (80 pessoas) o coeficiente de menor valor encontrado é 0,33 e o de maior valor 0,77.

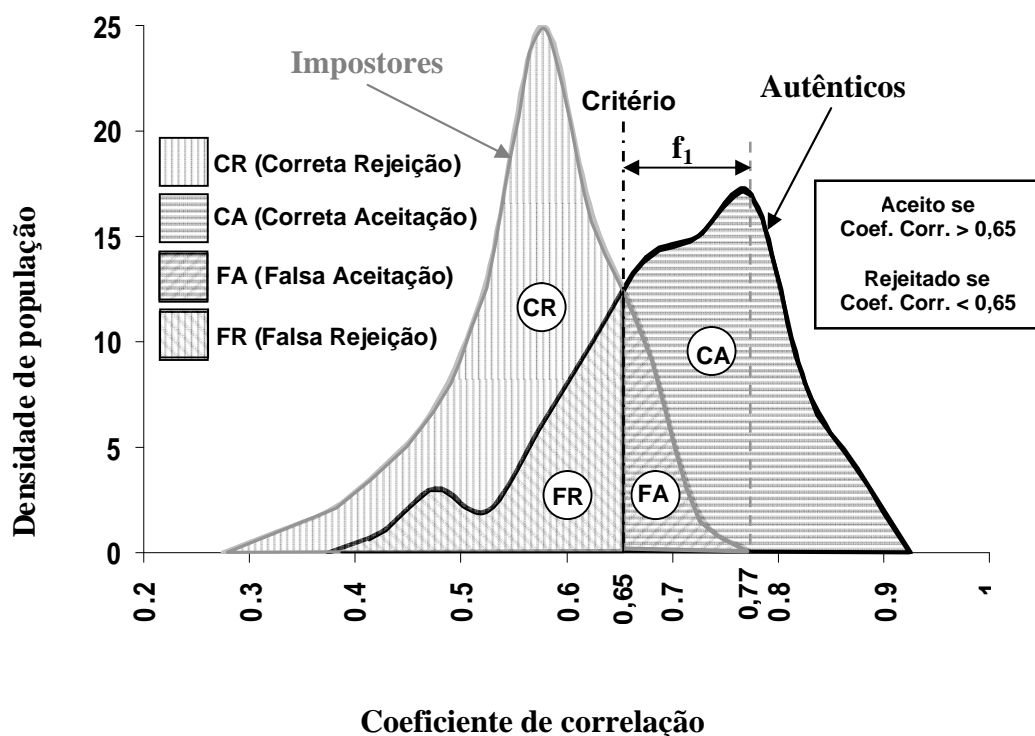


Figura 49 – Gráfico de impostores e autênticos.
O valor de coeficiente de correlação de 0,65 é usado para a tomada de decisão entre aceito e não aceito (critério de decisão).

O gráfico da Figura 49 mostra que dentro da faixa dos aceitos se encontram também os falsos aceitos, aqueles da faixa indicada no gráfico por f_1 . Para evitar este problema, pode ser utilizado o valor de 0,77 para coeficiente de correlação na tomada de decisão entre aceitação e rejeição eliminando assim todos os falsos aceitos. Porém, o uso deste valor reduz muito a faixa de pessoas que seriam aceitas, tornando o sistema menos eficiente.

Na população de 160 pessoas que incluem 50% de cadastradas e 50% de não cadastradas, foram encontrados os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados e percentagens

	Impostores		Autênticos	
	Falsa Aceitação	Correta Rejeição	Correta Aceitação	Falsa Rejeição
Total	12	68	58	22
Percentual	7,5 %	42,5 %	36,2 %	13,8 %

8.5 Melhorando o sistema

Uma alternativa para a melhora dos resultados anteriormente citados (seção 8.4), em que, na região com valores compreendidos entre 0,65 e 0,77, faixa indicada na Figura 49 por f_1 , que não se pode afirmar que o indivíduo é um falso positivo ou um corretamente aceito. A solução é fazer então uma nova verificação em outro pedaço da íris, do outro lado do mesmo olho (região esquerda), como mostra a Figura 50. Região esta que

é igual em dimensões e localizada do lado oposto em relação ao ponto central da pupila, fazendo dela um novo padrão (padrão do lado esquerdo da íris).

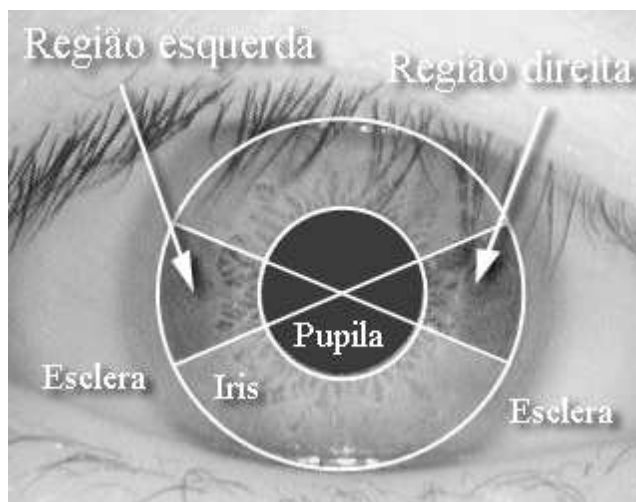


Figura 50 – Outra região da mesma íris aproveitada para confirmar o reconhecimento.

O procedimento, para a decisão de aceitação sofre, assim, pequena mudança, em que para todo o valor que estiver entre 0,65 e 0,77 (faixa indicada como f_1) seja feito uma nova medida de correlação com os padrões do lado esquerdo da íris, referente ao mesmo olho inicialmente achado. E novamente para a nova tomada de decisão é usado o valor 0,65 como critério, confirmando assim se essa íris pertence mesmo ao indivíduo.

Portanto, foram feitas essas novas avaliações para todos os valores encontrados no intervalo indicado (faixa f_1 na Figura 49), onde, existem 35 pessoas cadastradas e 12 pessoas não cadastradas, na condição de correta aceitação. Feitas as verificações usando os padrões do lado esquerdo, de 35 padrões de cadastrados, 25 foram confirmados como aceitos e 10 não. Vale salientar que, no caso de uma pessoa cadastrada que não seja aceita pelo sistema, ela pode novamente colocar o olho no aparelho para que seja feita uma nova tentativa de reconhecimento.

Porém o mais importante é que nos 12 não cadastrados, que também se encontravam nesta faixa, após as novas avaliações, 9 foram confirmados como não aceitos e somente 3 continuaram no estado de falsa aceitação. O gráfico da Figura 51, que apresenta o resultado de impostores mostra que os falsos aceitos, após a nova verificação, diminuiram sensivelmente em comparação com o gráfico anterior.

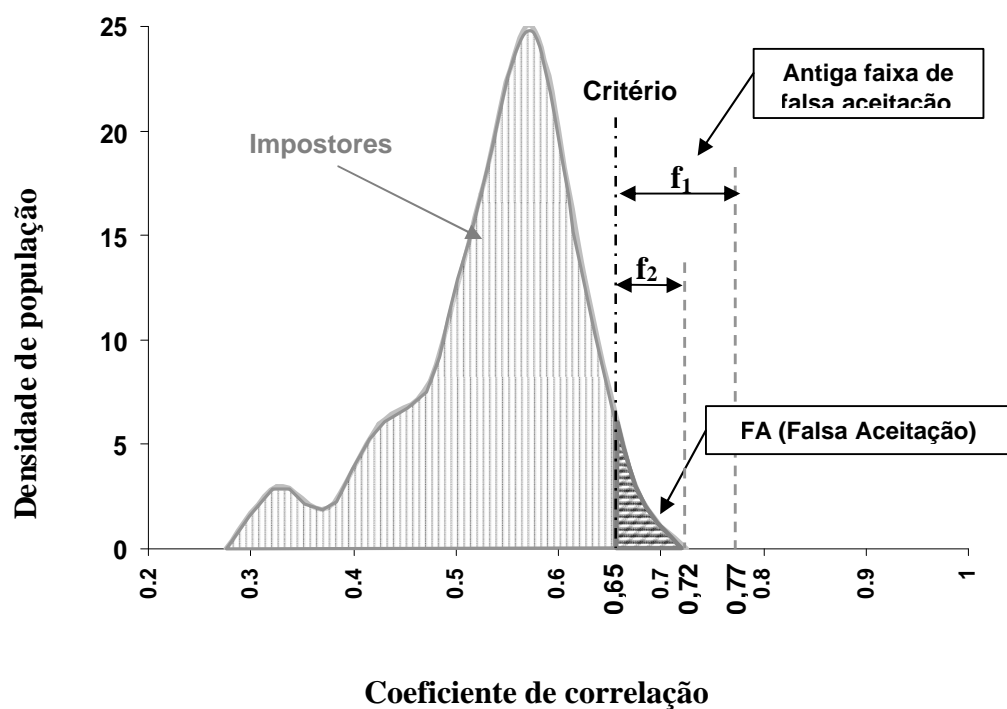


Figura 51 - Gráfico de impostores, após uso de padrões do lado esquerdo.

Portanto para uma população de 160 pessoas em que se incluem 50% de cadastradas e 50% de não cadastradas, foram encontrados os novos resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados e percentagens

	Impostores		Autênticos	
	Falsa Aceitação	Correta Rejeição	Correta Aceitação	Falsa Rejeição
Total	3	77	67	13
Percentual	1,9 %	48,1 %	41,9 %	8,1 %

8.6 Discussão de resultados e conclusões

Nos testes realizados verificou-se que a metodologia desenvolvida para a identificação de padrões de íris viabilizou resultados satisfatórios. A idéia de se usar o centro de massa para fazer segmentação das imagens de íris, que serviram como padrões, e o uso do coeficiente de correlação para descobrir qual o padrão mais aproximado, se mostraram de sucesso.

Deste modo, durante a confecção do programa para identificação, foram testados vários valores para a escolha do que poderia ser o melhor coeficiente de correlação para ser usado como o limite entre a aceitação ou não de um indivíduo.

Por fim, com os resultados obtidos nos testes, conforme apresentado na Figura 49, houve a indicação de que para o critério de aceitação de um indivíduo podem ser usados os valores superiores ao coeficiente de correlação de 0,65, e os inferiores a este valor para a não aceitação. Porém, conforme exemplos apresentados na Figura 49 houve a passagem dos falsos positivos, que deve ser objeto de melhoria no sistema de codificação.

Portanto, para melhorar os resultados obtidos, foram feitas modificações no programa, conforme explicado na seção 8.5, com a verificação de outra parte da íris (lado esquerdo), que vieram a melhorar os resultados.

Comparando-se os resultados do gráfico da Figura 49 anterior à modificação do sistema, com o da Figura 51, após a modificação, pode-se perceber uma melhora nos casos de falsa aceitação, faixa f_2 menor do que a f_1 . Porém para evitar o problema dos falsos positivos, pode ser utilizado o valor de 0,72 para valor da tomada de decisão entre aceitação e rejeição, pegando somente os valores superiores a 0,72. Eliminando-se desta forma todos os casos de falsa aceitação.

Observando-se os valores percentuais da tabela 6 em que é feita a comparação dos resultados, sem e com o uso do lado esquerdo da íris, nota-se uma apreciável melhora nos resultados após o uso da verificação do outro lado da íris, pois a falsa aceitação cai de 7,5 % para 1,9 %.

Tabela 6 – Comparação dos resultados, sem e com o uso do lado esquerdo.

	Impostores		Autênticos	
	Falsa Aceitação	Correta Rejeição	Correta Aceitação	Falsa Rejeição
Algoritmo original	7,5 %	42,5 %	36,2 %	13,8 %
Algoritmo modificado	1,9 %	48,1 %	41,9 %	8,1 %

Tendo em vista que no trabalho aqui apresentado foram usados, para reconhecimento de um indivíduo, somente dois pequenos pedaços (45 X 45 pixels) de uma única íris, o resultado obtido demonstra que o reconhecimento de íris é viável, até mesmo com uma pequena parcela de uma íris.

8.7 Trabalhos futuros

Este sistema ainda pode ser aperfeiçoado e dentre algumas melhorias se podem citar:

- (1) Aprimorar o sistema no cálculo do coeficiente de correlação, fazendo-se “deslizar” um padrão por sobre o outro, buscando deste modo a melhor acomodação entre os padrões. Ou seja, procurando uma posição entre os padrões em que exista a melhor congruência entre eles. Pois, em virtude de poder ter havido uma pequena rotação de um olho em relação a outro, nos padrões “retificados”, isto implicaria que os padrões poderiam ter entre eles, uma diferença de alguns pixels para cima ou para baixo.
- (2) Fazer o tratamento das imagens como, por exemplo, a equalização de histograma das imagens dos padrões.
- (3) Aperfeiçoar a procura no banco de padrões.
- (4) Utilizar codificação para representar os padrões, diminuindo assim a quantidade de dados a serem guardados no banco de padrões.
- (5) Fazer testes com banco de olhos que possua um maior número de imagens.

9 Referências Bibliográficas:

ANIL, K. Jain; ARUN, Ross; SALIL, Prabhakar. An Introduction to Biometric Recognition. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**; Vol. 14, No. 1, Jan 2004.

BERGGREN, L. Iridology: A critical review. **Acta Ophthalmologica**; v. 63,n.1, p. 1-8, 1985.

BIOMETRICS JOURNAL OF THE INTERNATIONAL BIOMETRIC SOCIETY. Disponível em: <<http://www.tibs.org/DefinitionofBiometrics.htm>>, acesso em: 15/05/2005.

BOLES, W., Boashash, B. A Human Identification Technique Using Images of The Iris And Wavelet Transform. **IEEE Transactions On Signal Processing**; v. 46, n. 4, 1998.

BRITISH TELECOM LABS, UK - C. Seal; M. Giord; D. McCartney. Iris recognition for user validation. **British, Telecommunications Engineering Journal**; v. 16, n. 7, p. 113-117, 1997.

CASIA - Chinese Academy of Sciences - Institute of Automation. **Database Of 756 Grayscale Eye Images Version 1.0**; Disponível em: <<http://www.sinobiometrics.com>>, acesso em: 15/05/2004.

DAUGMAN, J. Biometric decision landscapes. **Technical reports published by the University of Cambridge**; n. 482, p. ___, Jan 2000.

_____. **Biometric Personal Identification System Based On Iris Analysis**. United States Patent, Patent Number: 5,291,560, 1994

_____. Demodulation by complex-valued wavelets for stochastic pattern recognition. **Int'l Journal of Wavelets and Multi-resolution Information Processing**; v. 1, n. 1, p. 1 – 17, 2003a.

_____. **Recognizing Persons by Their Iris Patherns**. University of Cambridge, The Computer Laboratory, Cambridge CB2 3QG, U.K, 2001

_____. How Iris Recognition Works. **In Proceedings Of International Conference On Image Processing**; v.1, 2002.

_____. The importance of being random: Statistical principles of iris recognition. **Pattern Recognition**; v. 36, n. 2, p. 279-291, 2003b.

_____; Downing, C. **Epigenetic randomness, complexity and singularity of human iris patterns**. University of Cambridge, Computer Laboratory, Cambridge CB2 3QG, UK, 2001.

Cockburn, D. M. A study of the validity of iris diagnosis. **Australian Journal of Optometry**; Vol. 64, pp. 154-157, 1981.

DE GROOT, S. G.; Gebhard, J. W. **Pupil size as determined by adapting luminance**, US Naval Medical Research Laboratory JOSA 42 : 492-495, 1952.

ERIC Lipton. Uma obscura ciência a serviço da guerra contra o terrorismo. **Jornal “O Globo”**; p. 32 de 11 de agosto de 2005.

EYE Ticket, USA - from EyeTicket press releases; Disponível em: <<http://www.eyeticket.com/eyepass/index.html>>, 2001.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário de Língua Portuguesa**. 2 ed. rev – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, c 1986.

FIELD, D. Relations Between The Statistics Of Natural Images And The Response Properties Of Cortical Cells. **Journal of The Optical Society of America**; 1987.

GOWDAK, Luis Henrique; GOWDAK, Demetrio. **Atlas de Anatomia Humana**; São Paulo: Editora FTD, p.64p. ; il. 1989

HOUGH, Paul V.C. Machine Analysis of Bubble Chamber Pictures. **International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation**; CERN, 1959.

IRIDIAN TECHNOLOGIES, U.S.A - J. Cambier (2003), **Iridian Cross-Comparison Test**, Technical Report TR-02-004, 2003.

ENSCHED, Joh; - National Biometric Test Center, San Jose State University, (2000)

KNIPSCHILD, P. Looking for gall bladder disease in the patient's iris. **British Medical Journal**; v. 297, p. 1578-1581, 1988.

KONG, W.; Zhang, D. Accurate Iris Segmentation Based On Novel Reflection And Eyelash Detection Model. **In Proceedings Of 2001 International Symposium On Intelligent Multimedia, Video And Speech Processing**; Hong Kong, 2001.

KRONFELD, P. Gross anatomy and embryology of the eye. **The Eye**; H. Davson, Editora. London, U.K.: Academic Press: London, 1962.

LIPTON, Eric. Uma obscura ciência a serviço da guerra contra o terrorismo. **Jornal “O Globo”**; página 32, de 11 de agosto de 2005.

MA, L.; Wang, Y.; Tan, T. **Iris Recognition Using Circular Symmetric Filters**, National Laboratory Of Pattern Recognition, Institute Of Automation, Chinese Academy Of Sciences, 2002.

MASEK, Libor. **Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification**, The University of Western Australia, (2003).

MEYER, Paul L. **Probabilidade Aplicações à Estatística** – Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa** – São Paulo: Melhoramentos, – 2º volume, 2000.

MOON; SPENCER. Disponível em:
<<http://retina.anatomy.upenn.edu/~lance/eye/pupil.html>> - acesso em: julho de 2005, 1944

NATIONAL CENTER FOR STATE COURTS - Court Technology Laboratory. Disponível em: <<http://ctl.ncsc.dni.us/biomet%20web/BMIris.html>>, acesso em: 16/06/2005, **The fourth conference on electronic filing and privacy and public access, Biometrics and the Courts**, Las Vegas, Nevada, Dezembro 2004.

National Physical Laboratory UK - National Physical, CESG contract X92A/4009309, **Biometric Product - Testing Final Report**. Disponível em:
<<http://www.cesg.gov.uk/technology/biometrics>> Figura 6, pag. 12 do NPL report. (2001)

OLIVEIRA, S. L. G. **Desenvolvimento de um algoritmo baseado no filtro de Gabor para identificação de impressões digitais**. IPRJ – UERJ, Nova Friburgo, Dissertação de Mestrado, 2004.

PANASONIC BIOMETRIC IRIS RECOGNITION SYSTEM. Disponível em:
<<http://www.panasonic.com/business/security/biometrics.asp>>, acesso em 16/06/2005.

PENA, L. P. **Aplicação da Transformada de Fourier em um Sistema Automatizado de Impressões Digitais**, IPRJ, UERJ, Nova Friburgo, Dissertação de Mestrado, 2002

PRABHAKAR, S.; S. Pankanti; A. K. Jain. Biometric Recognition: Security and Privacy Concerns. **IEEE Security and Privacy Magazine**; v. 1, n. 2, p. 33-42, 2003.

RITTER, N. Location Of The Pupil-Iris Border In Slit-Lamp Images Of Cornea. **Proceedings Of The International Conference On Image Analysis And Processing**; 1999.

SANDIA LABS, USA - Report SAND 96-1033, Systems Engineering Department. **Sandia National Laboratories**; Resultado também citado na p. 38, Scientific & American, Abril de 1996.

SENSAR CORP, USA - M. Negin et al. **An iris biometric system for public and personal use**, **Computer**; v. 33, n. 2, p. 70-75, 2000.

SIMON, A.; Worthen, D. M.; Mitas, J. A. An evaluation of iridology. **Journal of the American Medical Association**; v. 242, p. 1385-1387, 1979.

TISSE, C.; Martin, L.; Torres, L.; Robert, M. Person. Identification Technique Using Human Iris Recognition. **International Conference on Vision Interface**; Canada, 2002

WILDES, R.; Asmuth, J.; Green, G.; Hsu, S.; Kolczynski, R.; Matey, J.; McBride, S. A System for Automated Iris Recognition. **Proceedings IEEE Workshop on Applications of Computer Vision**; Sarasota, Fl, p. 121-128, 1994.

_____. Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology. **Proceedings Of The IEEE**, Vol. 85, No. 9, Setembro 1997, pp. 1348-1363, 1997.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)