RODOLFO VERTAMATTI

ASSIMETRIA HUMANA NO RECONHECIMENTO MULTIBIOMÉTRICO

São Paulo

2011

RODOLFO VERTAMATTI

ASSIMETRIA HUMANA NO RECONHECIMENTO MULTIBIOMÉTRICO

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em Ciências

São Paulo

2011

RODOLFO VERTAMATTI

ASSIMETRIA HUMANA NO RECONHECIMENTO MULTIBIOMÉTRICO

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de Concentração:
Sistemas Eletrônicos

Orientador: Prof. Livre-Docente
Miguel Arjona Ramírez

São Paulo

2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 06 de dezembro de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Vertamatti, Rodolfo
Assimetria humana no reconhecimento multibiométrico / R. Vertamatti. -- ed.rev. -- São Paulo, 2011.
114 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1.Biometria 2.Assimetria (Humano) 3.Processamento digital de sinais 4.Multibiometria 5.Assimetria flutuante I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II. t.

DEDICATÓRIA

à minha amada, Selma Giraldelli

AGRADECIMENTOS

Ao professor Miguel Arjona Ramírez, pela orientação, diretrizes e apoio transmitido durante todo o trabalho.

A meus familiares e amigos, enfim, a todos aqueles que ajudaram e colaboraram na execução deste trabalho.

RESUMO

A combinação de fontes biométricas não redundantes da multibiometria supera a precisão de cada fonte individual (monobiometria). Além do mais, dois problemas em biometria, ruído e ataques de usurpadores, podem ser minimizados pelo uso de múltiplos sensores e biometria multimodal. Entretanto, se as similaridades estão em todos traços biométricos, como em gêmeos monozigotos (MZ), o processamento de múltiplas fontes não melhora a performance. Para distinguir extrema similitude, influências epigenéticas e ambientais são mais importantes do que o DNA herdado. Esta tese examina a plasticidade fenotípica na assimetria humana como uma ferramenta para melhorar a multibiometria. A técnica de Processamento Bilateral (PB) é introduzida para analisar discordâncias em lados esquerdo e direito dos traços biométricos. PB foi testado com imagens de espectro visível e infravermelho usando Correlação Cruzada, Wavelets e Redes Neurais Artificiais. Os traços selecionados foram dentes, orelhas, íris, impressões digitais, narinas e bochechas. PB acústico também foi implementado para avaliação da assimetria vibracional durante sons vocálicos e comparado a um sistema reconhecedor de locutores com parametrização via MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) e classificado por Quantização Vetorial. Para o PB de imagens e acústico foram coletadas 20 amostras por traço biométrico durante um ano de nove irmãos masculinos adultos. Com propósito de teste, as biometrias esquerdas foram impostoras às biometrias direitas do mesmo indivíduo e vice-versa, o que levou a 18 entidades serem identificadas por traço biométrico. Resultados alcançaram identificação total em todas biometrias tratadas com PB, comparado a um máximo de 44% de identificação correta sem PB. Esta tese conclui que peculiaridades bilaterais melhoram a performance multibiométrica e podem complementar qualquer abordagem de reconhecimento.

Palavras-chave: Biometria. Assimetria (Humano). Processamento digital de sinais. Multibiometria. Assimetria flutuante.

ABSTRACT

Combination of non-redundant biometric sources in multibiometrics overcomes individual source accuracy (monobiometrics). Moreover, two problems in biometrics, noise and impostor attacks, can be minimized by the use of multi-sensor, multi-modal biometrics. However, if similarities are in all traits, as in monozygotic twins (MZ), multiple source processing does not improve performance. To distinguish extreme similitude, epigenetic and environmental influences are more important than DNA inherited. This thesis examines phenotypic plasticity in human asymmetry as a tool to ameliorate multibiometrics. Bilateral Processing (BP) technique is introduced to analyze discordances in left and right trait sides. BP was tested in visible and infrared spectrum images using Cross-Correlation, Wavelets and Artificial Neural Networks. Selected traits were teeth, ears, irises, fingerprints, nostrils and cheeks. Acoustic BP was also implemented for vibration asymmetry evaluation during voiced sounds and compared to a speaker recognition system parameterized via MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) and classified by Vector Quantization. Image and acoustic BP gathered 20 samples per biometric trait during one year from nine adult male brothers. For test purposes, left biometrics was impostor to right biometrics from the same individual and vice-versa, which led to 18 entities to be identified per trait. Results achieved total identification in all biometrics treated with BP, compared to maximum 44% of correct identification without BP. This study concludes that bilateral peculiarities improve multibiometric performance and can complement any recognition approach.

Keywords: Biometrics. Asymmetry (Human). Digital signal processing. Multibiometrics. Fluctuating asymmetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As treze biometrias mais utilizadas..... 6

Figura 2: Espectro biométrico fracionado por nível de resolução, evidência e sinal biofísico medido..... 9

Figura 3: Mesmo método de identificação de DNA pode identificar um bilhão de pessoas, mas falhar para apenas duas..... 10

Figura 4: Exposição corpórea via raio X por retrodifusão usado em aeroportos..... 11

Figura 5: Leds infravermelhos usados em bonés para ofuscar câmeras de vigilância..... 11

Figura 6: Sensores expostos..... 12

Figura 7: Reconhecimento ruim se ruídos não são detetados de antemão 13

Figura 8: Diagrama de blocos de um reconhecedor biométrico e alguns pontos de ataques por hackers..... 14

Figura 9: Distribuição de probabilidades de cinco classes biométricas. E total ausência de margem de separação de classes..... 15

Figura 10: Evolução das espécies em função da dimensão de informações genéticas e neurais..... 19

Figura 11: Três pares de MZ..... 22

Figura 12: Evidências biométricas de gêmeos MZ..... 23

Figura 13: Assimetria BL tende a discernir MZ..... 24

Figura 14: Estudo [134]..... 26

Figura 15: Estudo [127]..... 27

Figura 16: Estudo [135]..... 28

Figura 17: Estudo [125]..... 28

Figura 18: Complexidade da dicotomia..... 30

Figura 19: Mascaramento computacional da quase-simetria..... 32

Figura 20: Fluxograma do Processamento Bilateral..... 34

Figura 21: Comparações em PB..... 35

Figura 22: Diagrama de blocos simplificado do Reconhecedor de Assimetrias Mulitbiométricas PB..... 36

Figura 23: DSRL de sensor CMOS full-frame de 21 Mpixels e lente 65mm f/2,8 1-5x..... 38

Figura 24: Íris humana com detalhes da lipofuscina e eumelamina no tecido fibroso do estroma..... 38

Figura 25: Foto à esquerda – NIR. Foto à direita – FIR..... 39

Figura 26: Espectro visível e infravermelho e o efeito da absorção atmosférica..... 39

Figura 27: Termogramas, sistema vascular da cabeça..... 40

Figura 28: Características da câmera térmica utilizada e respectivos dados técnicos..... 40

Figura 29: Vibrações acústicas..... 41

Figura 30: Microfone de contato capacitivo..... 43

Figura 31: Par de microfones de contato utilizados..... 43

Figura 32: Segmentos da íris e gráficos de correlação cruzada para íris genuína e para íris impostora..... 46

Figura 33: Curvas de histogramas da pessoa genuína e de impostores em função da correlação cruzada normalizada dos segmentos..... 46

Figura 34: Decomposição dos coeficientes wavelets..... 48

Figura 35: Dimensão e amplitude dos coeficientes da imagem X..... 49

Figura 36: DWT e IDWT da face X menos face X refletida em 2 níveis via função Haar..... 49

Figura 37: Diagrama da rede neural e gráfico do gradiente do erro *E(p)*.... 50

Figura 38: Interface Gráfica de Usuário (GUI) do Wavelet + NN em Matlab e as principais funções de cada botão..... 51

Figura 39: Segmentação e bilaterismo da pronúncia do ditongo [ai]..... 53

Figura 40: Células ciliares internas..... 56

Figura 41: Escala Mel..... 56

Figura 42: Cepstro vs. LPC vs. MFCC e banco de filtros MFCC..... 57

Figura 43: Implementação MFCC..... 58

Figura 44: Localização dos centróides no espaço paramétrico bidimensional de 2 locutores e a rotina LBG implementada em linguagem de alto-nível..... 59

Figura 45: Interface Gráfica de Usuário (GUI) do MFCC + VQ em Matlab e as principais funções de cada botão..... 59

Figura 46: Fusão de dados nas várias etapas do reconhecedor multibiométrico..... 60

Figura 47: Dentes frontais são de fácil acesso durante fala..... 64

Figura 48: Orelhas como biometria..... 64

Figura 49: Cartilagens nasais e narinas como biometria..... 64

Figura 50: Impressão digital como biometria..... 64

Figura 51: Segmentos da íris das pessoas 1 e 2..... 65

Figura 52: Matriz de γ_{PEAK} para os métodos da Correlação Cruzada PB e sem-PB..... 66

Figura 53: "A" é a diferença de imagens da mesma íris espaçadas por semanas. "B" é a diferença entre íris esquerda e direita, contemporâneas. "C" é a diferença entre íris de irmãos..... 67

Figura 54: Diagrama de blocos Wavelet + NN..... 68

Figura 55: Fotos do mesmo olho espaçadas por semanas..... 68

Figura 56: Termograma 2D, em 3D e gráfico da variação de temperatura. 71

Figura 57: Padrões de termogramas distintos entre duas pessoas..... 71

Figura 58: Fotos térmicas das mesmas pessoas da figura 56, espaçadas de alguns dias, com ênfase no queixo e pescoço..... 71

Figura 59: Termogramas dos olhos das pessoas 1, 2 e 3..... 72

Figura 60: Para testar a eficácia dos sensores de contato, compararam-se sensores externos, piezoelétrico e capacitivo. E acoplamento dos sensores piezoelétrico e capacitivo..... 74

Figura 61: Batida de uma nota de 105 Hz do violão..... 75

Figura 62: Microfones de contato sobre o músculo masseter..... 76

Figura 63: Ditongo [ai] captado por 4 sensores: 2 externos e 2 de contato..... 77

Figura 64: Piezo X capacitivo. Resposta em log-freqüência em 1 segundo e log-espectrograma..... 78

Figura 65: Espectros pan das 1ª, 5ª e 7ª harmônicas da freqüência fundamental do ditongo [ai] captado por 4 sensores de contato: 2 piezos e 2 capacitivos colocados bilateralmente sobre o músculo masseter..... 78

Figura 66: Comportamento antagônico da 7ª harmônica do ditongo [ai] para a acústica bilateral de 2 pessoas em teste..... 80

Figura 67: Movimentos das cordas vocais. De um ciclo a outro os movimentos são diferentes..... 81

Figura 68: Pronúncia com intenção uníssona da vogal [i] por 13 segundos 81

Figura 69: Identificação de pessoas por gráficos pan..... 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados práticos de algumas biometrias..... 7

Tabela 2: Aplicações biométricas e parcela de cada traço biométrico no faturamento mundial da área biométrica em 2009..... 8

Tabela 3: Comparação de quatro estudos sobre assimetria monobiométrica..... 26

Tabela 4: Significado e exemplos de nível de fusão nas várias etapas do reconhecedor multibiométrico..... 60

Tabela 5: Exemplos de técnicas utilizadas na etapa final de decisão do reconhecedor multibiométrico..... 61

Tabela 6: Características e motivos dos testes realizados..... 63

Tabela 7: Resultados da identificação 18 x 18 de imagens no espectro visível..... 69

Tabela 8: Resultados da identificação 18 x 18 de imagens no espectro infravermelho..... 73

Tabela 9: Variação de relação bilateral de 10 harmônicas da pronúncia [ai] para duas pessoas..... 80

Tabela 10: Identificação PB acústico versus PB não acústico..... 83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

adpt.	adaptado de
AND	Função booleana “E”
BL	Lados bilaterais dos traços biométricos (esquerdo e direito)
CPR	Reconhecimento de Padrões por Correlação
DNA	Ácido Desoxirribo-Nucleico
DT-STFT	Transformada de Fourier em intervalo reduzido e em tempo discreto
DTW	Deformação Temporal Dinâmica
EEG	Eletroencefalograma
FIR	Resposta Finita ao Impulso
GMM	Modelo de Mistura de Gaussianas
GUI	Interface Gráfica de Usuário
HDR	Grande Alcance Dinâmico
HMM	Modelo Oculto de Markov
ICP	Ponto mais perto Iterativo
IFOV	Campo de Visão Instantâneo
IPA	Alfabeto Fonético Internacional
IR	Infravermelho
ISO	Em câmeras digitais é o índice de exposição baseado na norma ISO
LBG	Técnica Linde-Buzo-Gray
LDV	Vibrômetro Doppler a Laser
LPC	Codificação por Predição Linear
MFCC	Coeficientes Cepstrais em Freqüência Mel
MRI	Imageamento por Ressonância Magnética
MZ	Gêmeos Monozigotos ou idênticos
NN	Redes Neurais Artificiais
OR	Função boolena “OU”
PCA	Análise em Componentes Principais

PB	Processamento Bilateral
piezo	piezoelétrico
RAL	Reconhecimento Automático de Locutor
RGB	Canais de cores Vermelho, Verde e Azul
STR	Identificação genética pela Repetição de nucletóides em Seqüência
VQ	Quantização Vetorial
V_{pp}	Valor pico a pico da envoltória
2D	Em duas dimensões
3D	Em três dimensões

LISTA DE SÍMBOLOS

ºC	Grau Celsius
$\Im(.)$	Transformada de Fourier
Hz	Ciclo por segundo
lux	Unidade SI de iluminância. 1lux = 1lm/m^2 = 1 cd.sr.m^{-2}
mel	Freqüência na Escala Mel
pixel	Elemento de Figura
rad	Radiano

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 1

2 MULTIBIOMETRIA E ASSIMETRIA..... 6

2.1 Introdução..... 6

2.2 Desafios à Biometria..... 8

2.2.1 Biometria: Excesso de Informação..... 9

2.2.2 Paradoxo da População..... 10

2.2.3 Privacidade..... 11

2.2.4 Intrusividade..... 12

2.2.5 Ruídos..... 13

2.2.6 Vulnerabilidade..... 14

2.2.7 Classificação..... 15

2.3 Multibiometria como Solução de Problemas..... 16

2.3.1 Vantagens da Multibiometria..... 16

2.3.2 Melhorando a Multibiometria..... 17

2.3.3 Passo Adiante em Multibiometria..... 17

2.4 Assimetria Flutuante Multibiométrica..... 18

2.4.1 Entropia e Simetria..... 19

2.4.2 Biologia, Genética e Simetria..... 20

2.4.3 Multibiometria, Gêmeos Monozigotos e Assimetria Bilateral..... 21

2.4.3.a Idade..... 22

2.4.3.b Traços Biométricos..... 22

2.4.3.c Descorrelação entre Assimetria BL e MZ..... 22

2.4.4 Importância da Assimetria na Multibiometria..... 25

2.4.5 Comparação de Estudos que Associam Assimetria à Biometria..... 25

3 NOVA TÉCNICA MULTIBIOMÉTRICA BASEADA EM ASSIMETRIA..... 29

3.1 Introdução..... 29

3.2 Processamento Bilateral..... 30

3.2.1 Complexidade da Dicotomia..... 30

3.2.2 Quase-Simetria..... 32

3.2.3 Fluxograma..... 34

3.2.4 Vantagens Inerentes do Processamento Bilateral..... 35

3.2.5 Diagrama de Blocos do Reconhecedor de Assimetrias Multibiométrico..... 36

3.3 Sensores..... 37

3.3.1 Captura de Imagem no Espectro Visível 38

3.3.2 Captura de Imagem Infravermelho Longo – LWIR..... 39

3.3.3 Captura de Assimetrias da Voz via Sensores Acústicos. 41

3.4 Processamento Bilateral Específico e Classificação..... 44

3.4.1 Processamento Bilateral para Imagens por Correlação Cruzada..... 44

3.4.1.a Alinhamento do PB Correlação..... 45

3.4.1.b Segmentação do PB Correlação..... 45

3.4.1.c Bilaterismo do PB Correlação..... 45

3.4.1.d Classificação do PB Correlação..... 45

3.4.1.e Correlação sem-PB..... 46

3.4.2 Processamento Bilateral para Imagens por Wavelet + NN..... 47

3.4.2.a Alinhamento do PB Wavelet + NN..... 47

3.4.2.b Segmentação do PB Wavelet + NN..... 47

3.4.2.c Bilaterismo do PB Wavelet + NN..... 47

3.4.2.d Classificação do PB Wavelet + NN..... 50

3.4.2.e Wavelet + NN sem-PB..... 51

3.4.3 Processamento Bilateral Acústico..... 52
3.4.3.a Alinhamento do PB Acústico..... 52
3.4.3.b Segmentação do PB Acústico..... 52
3.4.3.c Bilaterismo do PB Acústico..... 54
3.4.3.d Classificação do PB Acústico..... 55
3.4.3.e Acústico sem-PB..... 56
3.5 Fusão..... 60

4 RESULTADOS..... 62
4.1 Introdução..... 62
4.2 Resultados para Biometrias por Sensor Visual..... 64
4.2.1 Método da Correlação..... 65
4.2.2 Método Wavelet + Redes Neurais..... 67
4.2.3 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB – Visível..... 69
4.3 Resultados para Biometrias por Infravermelho..... 71
4.3.1 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB – Infravermelho..... 73
4.4 Resultados para Biometrias por Sensor Acústico..... 74
4.4.1 Aquisição Acústica em Instrumentos Musicais..... 74
4.4.2 Aquisição Acústica em Seres Humanos..... 76
4.4.2.a Externo X Capacitivo..... 77
4.4.2.b Piezoelétrico X Capacitivo..... 78
4.4.3 Longo e Curto-Prazo..... 79
4.4.3.a Longo-Prazo..... 79
4.4.3.b Curto-Prazo..... 81
4.4.4 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB – Acústico..... 83
4.5 Efeito da Fusão por Ranqueamento..... 84

5 CONCLUSÕES..... 85

6 CONTINUIDADE DO TRABALHO..... 86

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 88

REFERÊNCIAS..... 90
GLOSSÁRIO..... 109
ANEXO..... 114

Capítulo 1 INTRODUÇÃO

Para confrontar crimes em excesso, câmeras de vigilância proliferam-se por todos os lados. Mas a baixa resolução do vídeo, associada ao monitoramento humano, tornam seus resultados dúbios. Câmeras inteligentes, com capacidade de identificação biométrica, representam um eficaz avanço.

Sociedade justa, segura e eficiente é anseio universal. Tecnologia, se aplicada equilibradamente, é um meio para se almejar tal objetivo. Reconhecimento biométrico é uma destas ferramentas tecnológicas. E, mencionadas acima, câmeras inteligentes e biométricas são exemplos de aplicação da área.

Contudo, mensurar evidências humanas não é como medir objetos inanimados – cujas distribuições estatísticas das medidas advêm apenas do erro do método de aquisição. Biometrias são instáveis, suas variações seguem leis que muitas vezes não compreendemos. A identificação, assim, resume-se a "*fuzzy comparisons*".

Reconhecimento biométrico, para superar instabilidades, precisa da robustez da multibiometria e desconfinar do universo de classificação de padrões genérico. Investigação biognóstica é fundamental.

Compreender a vida está acima de qualquer pretensão em pesquisa científica atual. Todavia, observações e análises estruturais de seres vivos são possíveis e avanços podem ser obtidos se incorporados à biometria. Uma possível análise estrutural é a assimetria flutuante.

Vida e simetria são profundamente interligadas – no que somos e no que fazemos. Em tudo que produzimos, nas mais diversas áreas: arquitetura, música, matemática; simetria está presente [1]. Em conceitos abstratos, como beleza, há simetria [2].

Vários estudos científicos [3] sobre diversas espécies animais apontam o aspecto simétrico-corporal como decisivo na escolha de parceiros para reprodução. Seria inata na perpetuação da espécie a busca por simetria?

Há inerente busca por simetria, mas como se caracteriza a simetria corporal humana? Há simetria perfeita? A. Iannarelli, pesquisador na área de identificação de orelhas, resume assim no prefácio de seu livro "Ear Identification" [4]:

> *" Ao longo de 38 anos de pesquisa sobre formas de orelhas, o autor concluiu que em, literalmente, milhares de orelhas examinadas... nunca duas orelhas foram classificadas como idênticas – nem mesmo as orelhas do mesmo indivíduo. A singularidade mantém-se verdadeira em casos de gêmeos idênticos, triplos e quádruplos."* *A. Iannarelli*

Assim como Iannarelli observou orelhas, facilmente constata-se a olho nu que os lados esquerdo e direito de qualquer traço biométrico humano não são rigorosamente idênticos. Nota-se desalinhamentos, texturas distintas, marcas incongruentes. Por que estas pequenas diferenças se o código genético é único e não faz distinções sobre o lado bilateral? A resposta é simples: diferenças de origem não genética.

Segue, então, a pergunta crucial: é a assimetria flutuante importante à biometria?

O presente trabalho justifica-se na busca de um novo paradigma à multibiometria através do uso das influências ambientais e epigenéticas. A assimetria flutuante é comum a todos humanos, porém, pouco explorada na área biométrica e carente de análise abrangente.

O núcleo da presente pesquisa é o desenvolvimento de uma técnica para confrontar lados bilaterais, potencializar diferenças biométricas encontradas e utilizar estas informações no reconhecimento automático de pessoas. A técnica é denominada Processamento Bilateral (PB).

O fluxograma do PB genérico é delineado. Para checar sua validade, PB foi testado com abrangência e sob vários enfoques, isto é, pelo uso de múltiplas biometrias, multialgoritmos, multissensores, multi-instâncias. Ademais, a implementação visou superar desafios biométricos através de não-intrusividade e acessibilidade natural aos traços. Aplicaram-se estas premissas, salvo em impedimentos práticos da implementação que exigiram solução de compromisso.

Sete biometrias foram pesquisadas na implementação PB:

-olho (íris);

-cartilagem nasal (narinas);

-contorno dentário frontal;

-orelhas;

-impressão digital sem contato;

-termograma facial (bochechas);

-voz.

Utilizaram-se múltiplos sensores das seguintes representações biofísicas:

-imagem no espectro visível (390 nm a 750 nm);

-termograma ou imagem no infravermelho longo (8 μm a 14 μm);

-vibração acústica durante fonação via microfones de contato.

Técnicas de Processamento Digital de Sinais envolvidas:

-Correlação Cruzada (imagens);

-DT-STFT (som);

-Wavelet (imagens);

-Pan (som);

-Mel Frequency Cepstral Coeficients (som).

Técnicas de Classificação de Padrões empregadas:

-Redes Neurais Artificiais (imagens);

-Quantização Vetorial (som);

-Classificações *ad hoc* (imagens e som).

Colheram-se até 20 amostras de 9 irmãos-homens por traço ao longo de um ano. A opção da população só de irmãos minimiza a distância genética, a menor possível exceto gêmeos. Além disso, como objetivo de teste, confrontaram-se lados bilaterais, i.e., lado esquerdo como impostor do lado direito e vice-versa *(se realizado por humanos, diferenciar lados bilaterais é tarefa difícil aos próprios donos dos traços biométricos, se a quiralidade é eliminada e não houver assimetrias exacerbadas).*

Motivação da Pesquisa: Inovar em biometria não é difícil. Há "infinitas" biometrias a serem exploradas no corpo humano. Basta adaptar uma técnica consolidada (a da íris, por exemplo) para uma nova biometria. Trabalho, assim, seria inovador, mas pode-se questionar se seria cientificamente importante. Para inovar e ser importante é preciso que a área biométrica não se restrinja a parametrizar e classificar, mas englobe informações biológicas relevantes sobre a estrutura humana. A busca destas informações é a essência da tese.

Há cerca de uma dezena de estudos [125-135] que vinculam assimetria humana à área biométrica. A presente tese é a primeira a associar assimetria à multibiometria.

Segue abaixo a relação das principais contribuições apresentadas neste trabalho:

- Introdução da assimetria flutuante à multibiometria e explicação de sua importância baseada na tríade: biologia do desenvolvimento, genética e física (entropia).
- Introdução da técnica de Processamento Bilateral (PB), desde o algoritmo geral à integração específica dentro de um Reconhecedor Multibiométrico. PB incorpora premissas oriundas de observações biológicas da estrutura humana, como a dicotomia complexa e a quase-simetria. A potencialidade de aplicação da técnica PB é em todo o campo biométrico.
- Indicação e uso do efeito acústico-vibracional da voz na pele da face em reconhecimento biométrico de locutores através de um conjunto de sensores de contato.
- Além dos contornos geométricos, uso biométrico de veias e texturas de orelhas.
- Uso do contorno de narinas (vistas de baixo para cima).
- Uso do contorno frontal dos dentes durante abertura espontânea da boca.
- Utilização e vantagens de novo patamar de resolução de sensores de espectro visível associado a lentes de macrofotografia.

Os capítulos seguintes delineiam a necessidade de evolução da área biométrica, as justificativas do Processamento Bilateral, as implementações PB, os resultados obtidos, conclusões e futuras direções.

O capítulo 2 mostra a área biométrica e seus desafios. Para superar desafios, uma trajetória de evolução à biometria é apresentada. Um caminho natural de progresso é através da fusão multibiométrica. Ao se introduzir o uso de estruturas e características corpóreas, e evitar o problema do paradoxo da população, o passo proposto para continuar avançando é a Assimetria Flutuante Multibiométrica. O capítulo 2 finaliza com a comparação dos raros estudos existentes de Assimetria Flutuante Monobiométrica e o que se pode aproveitar de suas características.

O capítulo 3 apresenta uma nova técnica multibiométrica baseada em assimetrias bilaterais humanas chamada Processamento Bilateral (PB). O capítulo inicia-se com o que se deve incluir no processamento, as vantagens inerentes, o fluxograma genérico da técnica PB e o diagrama de blocos da técnica. Em seguida, neste 3º capítulo, vem a descrição das implementações, i.e., sensores, algoritmos de parametrização e classificação utilizados.

O 4º capítulo descreve os resultados obtidos, organizados por sensor e técnica de Processamento Bilateral utilizados. Justificativas para cada condição de teste são apresentadas. Amostras dos sensores reais das pessoas envolvidas são exemplificadas. Formas e motivos da estruturação dos dados de testes seguem com a síntese dos resultados.

O capítulo 5 sumariza as principais conclusões observadas neste trabalho e o capítulo 6 indica possíveis caminhos de continuidade ao se aproveitar a essência dos resultados aqui obtidos. As considerações finais encontram-se no capítulo 7.

Seguem as referências dos assuntos tratados nesta tese, glossário de termos não comuns à área de engenharia eletrônica. Por fim, anexa-se o parecer sobre a ética do método da pesquisa com pessoas realizado na aquisição de dados desta tese, bem como, indicações do suporte de apoio à pesquisa.

Capítulo 2 MULTIBIOMETRIA E ASSIMETRIA

2.1 Introdução

Melhores técnicas de identificação biométrica surgem a cada dia. Paulatinamente, "provar quem somos" deixa de depender de algo que portamos e de fácil burla, i.e., cartão, documento, etc., para associar-se a singularidades naturais de nossos corpos.

Singularidades, únicas dentre os humanos, espalham-se pelo corpo de cada pessoa. A figura 1 ilustra as treze biometrias mais usadas em Reconhecimento Automático.

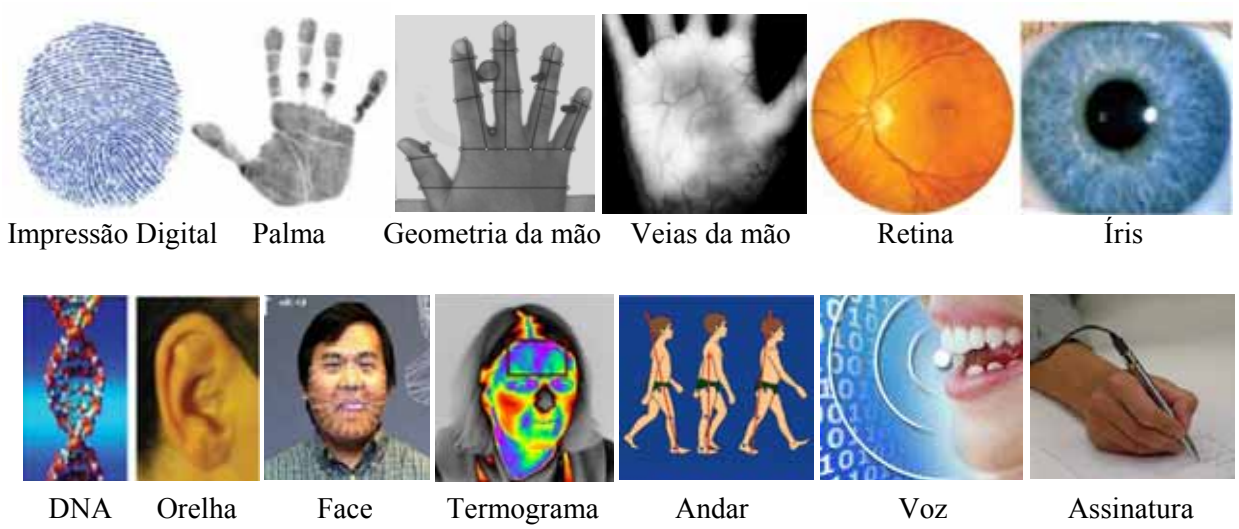


Figura 1: As treze biometrias mais utilizadas (fotos adpt. de [37; 48-49]*).*

As quatro primeiras biometrias (1ª linha de fotos da fig.1, à esquerda) são da mão:

-Impressão digital [5-9]: a biometria historicamente mais utilizada, mais da metade das aplicações biométricas são análises dermatoglíficas.

-Impressão da palma da mão [10-11]: estende-se os princípios da impressão digital (desvios, planuras, cristas, sulcos, etc.) a toda área da palma.

-Geometria da mão [10-11]: ao invés de papilas dérmicas, a biometria analisa a geometria relativa dos dedos ao metacarpo / opistenar.

-Veias da mão [10-11]: visualização das veias através de infravermelho.

Duas biometrias (1ª linha da fig.1, à direita) relacionam-se aos olhos:

-Retina [12-15]: Imagem da rede capilar retinal.

-Íris [12-15]: Análise da estroma e células epiteliais pigmentadas oculares.

O DNA (2ª linha da fig.1, à esquerda):

-DNA [17-22]: uso do código genético de qualquer célula como biometria.

Traços biométricos encontrados na face (2ª linha da fig.1, ao centro):

-Orelha [23]: contorno geométrico do pavilhão auricular.

-Face [24-35]: todos os traços biométricos faciais analisados ao mesmo tempo.

-Termograma [16]: o mesmo que a face, só que a análise em infravermelho.

Características biométricas comportamentais (2ª linha da fig.1, à direita):

-Andar [36-38]: trajetória de movimento de todo o corpo ao caminhar.

-Voz [39-45]: propriedades únicas de cada locutor.

-Assinatura [46-47]: além da forma da assinatura; pressão, velocidade, etc.

A tabela 1 compara seis destas treze biometrias acima, quando aplicadas em reconhecedores reais, sob estes aspectos: Maturidade é o estado tecnológico da implementação. Falsa Aceitação é a probabilidade de o impostor ser aceito. Falsa Rejeição é a probabilidade de o genuíno ser recusado. Custo do Sensor deve ser interpretado relativamente, devido a variabilidade dos preços. Tipo de Sensor alusivo à intrusão. Tamanho do Sensor e "Template" são as respectivas dimensões.

	Digitais	Mão	Íris	DNA	Face	Voz
Maturidade	muito alta	média	alta	alta	média	alta
Melhor Falsa Aceitação	10^{-8}	10^{-4}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-2}	10^{-2}
Melhor Falsa Rejeição	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-11}	10^{-2}	10^{-3}
Custo do Sensor	<R$200	<R$1000	<R$6000	>>R$6000	<R$100	<R$10
Tipo do Sensor	intrusivo	intrusivo	intrusivo	intrusivo	não intrusivo	não intrusivo
Tamanho do Sensor	pequeno	grande	médio	muito grande	pequeno	muito pequeno
Tamanho do "Template"	<200 bytes	<10 bytes	<200 bytes	>2K bytes	<2K bytes	<2K bytes

Tabela 1: Resultados práticos de algumas biometrias (adpt. de [50]*).*

Aplicações biométricas são extensas, crescentes e promissoras em vários segmentos, como mostra a tabela 2 para os segmentos forense, governamental e comercial. A extensão do mercado também está na tabela 2, fracionado por traço biométrico.

Forense	Governamental	Comercial
Identificação de corpos	Prevenção de crimes	Auxílio à medicina
Investigação criminal	Unicidade: RG, CNH	Controle de acesso
Parentesco	e-previdência, e-voto	Câmeras inteligentes
Crianças desaparecidas	Fronteiras	Comércio eletrônico

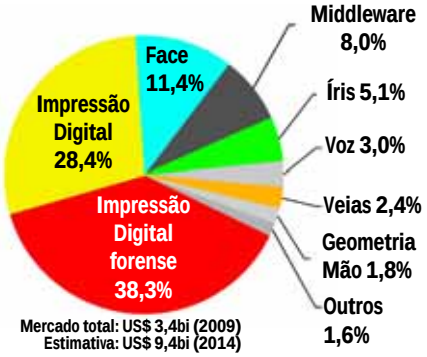


Tabela 2: Aplicações biométricas (esquerda – adpt. de [49, p.12]*) e parcela de cada traço biométrico (direita – adpt. de* [51]*) no faturamento mundial da área biométrica em 2009.*

Este capítulo percorre uma rota de evolução da área biométrica para superar suas limitações. A seção 2.2 mostra os principais entraves da área biométrica.

Na seção 2.3, a robustez advinda da multibiometria, contornando problemas como ruídos e ataques de impostores. Ainda na seção 2.3, o que pode ser feito em multibiometria para continuar ascendendo em performance.

A Assimetria Flutuante Multibiométrica é discutida na seção 2.4. Explana-se assimetria flutuante sob aspectos da física, genética e biologia. Além disso, reforça-se com a análise de gêmeos monozigotos (MZ) e estudo comparativo de alguns estudos na área.

As referências [52-84] para biometria e [85-86] para multibiometria servem como livros-texto de definições e assuntos aqui mencionados.

2.2 Desafios à Biometria

Apesar de promissora, a biometria enfrenta desafios que necessitam ser contrabalançados para não culminar em interpretações erradas, aplicações indevidas e ser estereotipada como tecnologia distópica. Os principais desafios são apresentados nesta ordem a seguir: excesso de informação, paradoxo da população, privacidade, intrusividade, ruído, vulnerabilidade e classificação.

2.2.1 Biometria: Excesso de Informação

A tabela 1 anterior induz erroneamente a suposta superioridade de uma biometria em relação à outra. A tabela apenas dispõe lado a lado resultados biométricos de recentes pesquisas; e.g., coluna íris: 1 impostor em 10 bilhões é classificado como usuário genuíno; coluna face: 1 em cada 100 usuários é reconhecido incorretamente. Entretanto, a íris é comumente capturada através de sensores próximos e de alta definição. A face, por sensores distantes e de resolução baixa. Aumentando a resolução de forma a adquirir a textura da pele, a curva da cartilagem nasal, etc., a performance facial supera a da íris. Aliás, a íris pertence à face.

Unicidade biométrica [86, p.19] existe desde a macroscópica estrutura humana até o nível de fragmentos de DNA. Ao percorrer o corpo, sempre há novas evidências. Qualquer sinal biofísico medido é potencialmente biométrico. Além disso, notam-se aspectos comportamentais em qualquer biossinal ao longo do tempo, que são únicos também a cada ser humano, e, portanto, biométricos [69]. A figura 2 evidencia este leque de direções por onde sempre se pode extrair mais informação biométrica.

Há abundância de informação: no grau de resolução, na evidência corpórea em foco, na gama de biossinais, e em aspectos comportamentais. O desafio de projetar um sistema biométrico é selecionar dentre "infinitas" biometrias, sem incorrer em redundâncias ou maldição da dimensionalidade [87, p.839].

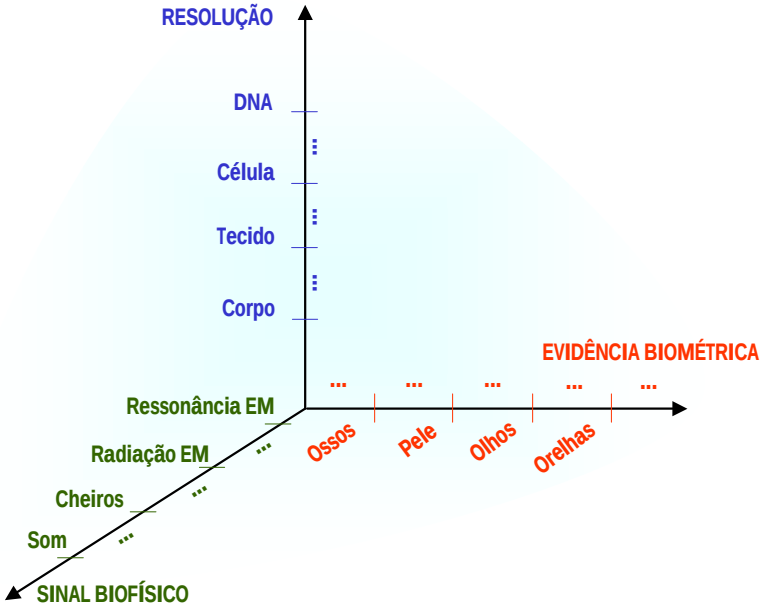


Figura 2: Espectro biométrico fracionado por nível de resolução, evidência e sinal biofísico medido.

Tempo como 4ª dimensão agrega a biometria comportamental, que por sua vez subdivide-se em emocional, fisiológico, etc.

2.2.2 Paradoxo da População

O tamanho da população em análise biométrica é paradoxal. População grande *per se* acarreta maior confiabilidade estatística, mas o êxito em testes com grande população não garante um reconhecedor mais robusto. A razão é a influência direta da distância genética na análise biométrica.

Exemplo: DNA – exames modernos distinguem corretamente 1 bilhão de pessoas [18, p.497]. Ressalva-se, porém, que o grau de parentesco presente na composição populacional pode alterar resultados drasticamente. Irmãos possuem distâncias genéticas diminutas e gêmeos monozigotos (MZ) possuem DNA idênticos, excetuando variações genéticas sutis [88].

O que leva à contradição: identificação pode ser 100% correta para 1 bilhão de pessoas e 0% para apenas 2 pessoas, dependendo de qual população envolve MZ. Gêmeos MZ são 0,2% da população mundial, portanto, a precisão real do exame de DNA é no máximo 10^{-3}. A figura 3 abaixo ilustra a desproporcionalidade numérica entre acerto e erro que a distância genética pode produzir.

Três observações sobre este percentual de 0,2% de MZ pós-parto: 1) Técnicas recentes de reprodução in vitro estão aumentando a quantidade relativa de gêmeos MZ e também multizigóticos. 2) Grande parte das gestações iniciam-se com múltiplos embriões, mas a maioria dos MZ não chegam a nascer e são absorvidos pela mãe ou irmão (vanishing twins) [89, p.108]. 3) Não há consenso científico porque em certas comunidades pequenas, como Cândido Godói (Brasil), Kodinji (Índia) e Igbo-Ora (Nigéria), o percentual de MZ é muito superior à média mundial.

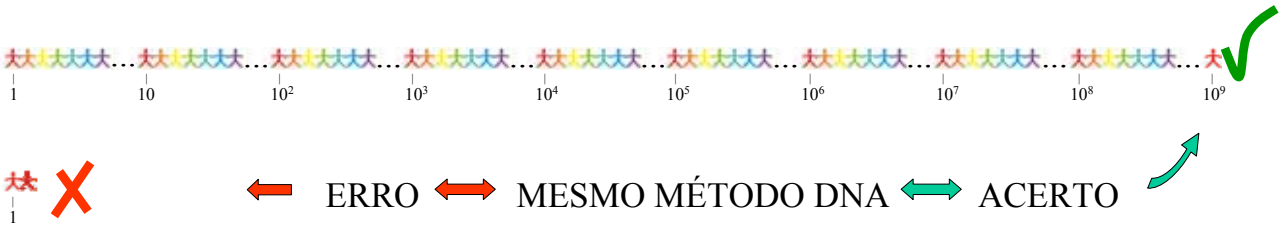


Figura 3: Mesmo método de identificação de DNA pode identificar um bilhão de pessoas, mas falhar para apenas duas. Exemplo do grau de influência com parentesco: com 10 localizações STR (Short Tandem Repeat) no DNA a probabilidade de coincidência é: MZ (1), irmãos (10^{-4}), pai/filho (10^{-6}), meio irmão ou tio/sobrinho (10^{-7}), primo de 1º grau (10^{-8}), sem parentesco (10^{-9}) [18, p.511].

2.2.3 Privacidade

A falta de privacidade e grau de intrusividade (ver 2.2.4) afetam a característica biométrica conhecida como aceitabilidade [86, p.19] – isto é, a predisposição de usuários de submeterem seu traço biométrico ao sistema reconhecedor.

Estado, instituição, indivíduo dispõem de, cada vez mais, mecanismos para aumentar seu grau de ciência sobre outros (e.g., a figura 4 mostra um exemplo de invasão da privacidade de passageiros em aeroportos) [70].

Antagonicamente e *pari passu*, recrudescem os mecanismos para contra-atuar e resguardar a revelação da identidade (e.g., a figura 5 exibe um exemplo de um indivíduo usando artifícios para evitar sua identificação da face em ambientes com câmeras de vigilância) [90].

Toda sociedade deve determinar onde e como tolera a perda da privacidade em troca de segurança, justiça e eficiência. Atuação e contra-atuação são fatores que a sociedade deve ponderar em determinar a tênue linha ética entre plausível e inadmissível [91].

A análise biométrica é um mecanismo que aumenta a transparência. Futuro distópico ou socialmente equilibrado depende de como a tecnologia é e será aplicada.

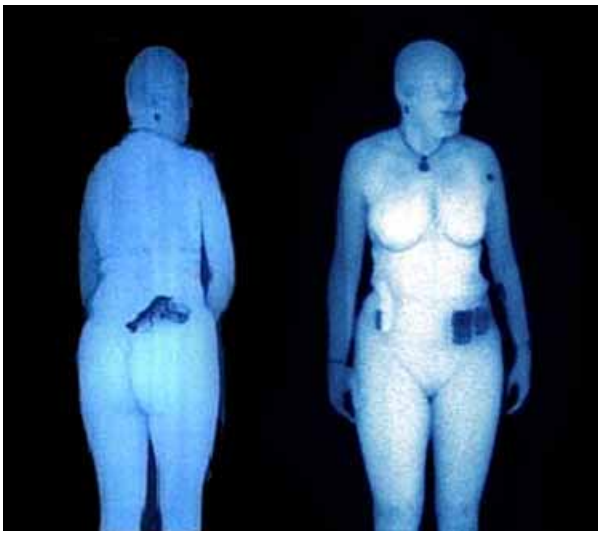


Figura 4: Exposição corpórea via raio X por retrodifusão usado em aeroportos (foto Elaine Thompson / Associated Press).

Figura 5: Leds infravermelhos usados em bonés para ofuscar câmeras de vigilância (foto do fornecedor dos bonés – HacknMod).

2.2.4 Intrusividade

Há natural aversão humana em se sujeitar às limitações de máquinas reconhecedoras, e.g., colocar o dedo em superfície por muitos usada, agachar-se para a leitura da íris, pronunciar palavras pré-determinadas, etc.

Sensores biométricos expostos constrangem psicologicamente e desencadeiam reações indesejáveis:

1) genuínos não se comportam naturalmente e tendem à não-colaboração.
2) impostores, cientes dos sensores, potencializam a burla das biometrias.

A figura 6 abaixo retrata estes dois efeitos. O conjunto de fotos à esquerda exemplifica alguns incômodos a genuínos, e o conjunto de fotos à direita mostra técnicas de burla de impostores.

Sob esta ótica, a análise biométrica imperceptível convém prevalecer. Isto é, se o uso de sensores é lícito, pessoas não tomam ciência parcial ou total de suas localizações (eventualmente alguns sensores expostos podem ser falsos). Muito embora, imperceptibilidade exige sensores mais caros e rotinas mais sofisticadas já que é necessário sobrepujar a distância não controlada entre reconhecedor e analisado.

Figura 6: Sensores expostos. Conjunto de fotos à esquerda: Incômodos como falta de limpeza e interação desagradável com sensores (fotos: Lumidigm (acima), Departamento de Defesa dos EUA (esq. abaixo), Univ. de Cambridge (dir. abaixo). Conjunto de fotos à direita: tentativas de burlar: resina de impressão digital genuína sobre a digital de um impostor e lente de contato com íris genuína e o efeito do quadriculado artificial na FFT (fotos [8, p.383] (acima) *e* [49, p.412] (abaixo).

2.2.5 Ruídos

Ruído na captura de amostras é grande empecilho à performance do reconhecedor biométrico. Aplica-se a denominação "ruído" a qualquer impedimento que ocorra entre o sensor e o traço biométrico a mensurar.

Há extensa gama de possíveis ruídos: contato imperfeito das impressões digitais, cílios sobre olhos semi-abertos, oclusão por cabelos da orelha, sons simultâneos à voz, *motion blur*, variações temporárias (e.g., cortes, erupções cutâneas), imprópria manutenção de sensores (e.g., sujeira), desfavoráveis condições do ambiente (e.g., iluminação desbalanceada), etc.

A figura 7 abaixo ilustra alguns exemplos de ruídos que, se não detectados, levam à performance biométrica ruim, pois não haverá conformidade com os padrões armazenados na base de dados.

Sistemas devem garantir a qualidade de suas amostras. Identificar e ponderar interferência, obstrução, condições ambientais, estado de manutenção do sensor, etc., antes do processamento das amostras é crucial a sistemas de reconhecimento biométricos no mundo real [76, p.273-292].

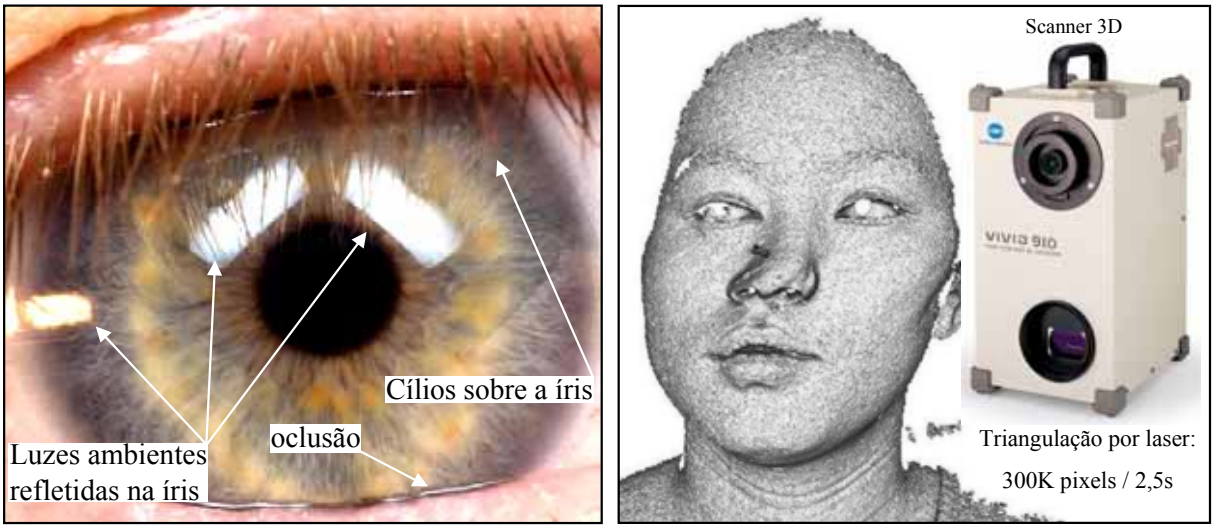


Figura 7: Reconhecimento ruim se ruídos não são detectados de antemão. Exemplos de ruído:

Foto à esquerda: obter toda a íris é intrusivo, normalmente ela está semi-oclusa. Reflexos são comuns e inconvenientes (foto: autor).

Fotos à direita: movimento (motion blur) durante a varredura em 3D (fotos: [49, p.213] *e Minolta).*

2.2.6 Vulnerabilidade

Impostores e *hackers* objetivam burlar sistemas biométricos, mas com atuações distintas. Enquanto impostores atuam no ambiente dos sensores se fazendo passar por genuínos, *hackers* buscam penetrar qualquer outra parte do sistema que não seja se apresentando ao sensor.

Reconhecedores biométricos tornam-se vulneráveis se amostras, *templates* falsos ou *bypass* são inseridos por *hackers*. A figura 8 apresenta o diagrama de blocos de um reconhecedor genérico e pontos de atuação de *hackers*. Pelo grau de acesso a informações, *hackers* podem causar mais prejuízos do que impostores.

Atenção extra é pertinente em alvos de ataques, como sensores e base de dados remotizados por *links* desprotegidos. Por exemplo, a remotização via internet, devido a fragilidade de redes abertas, deve ser criptografada, senão evitada.

É contra-senso um sistema de alta performance, algoritmos e sensores sofisticados, se é vulnerável a ponto de um *hacker* invadi-lo e alterá-lo em um bit apenas, e.g., de usuário "não aceito" a "aceito". Portanto, sistemas de alta-performance devem se preocupar em proteger todos seus componentes, e não apenas aperfeiçoar resultados.

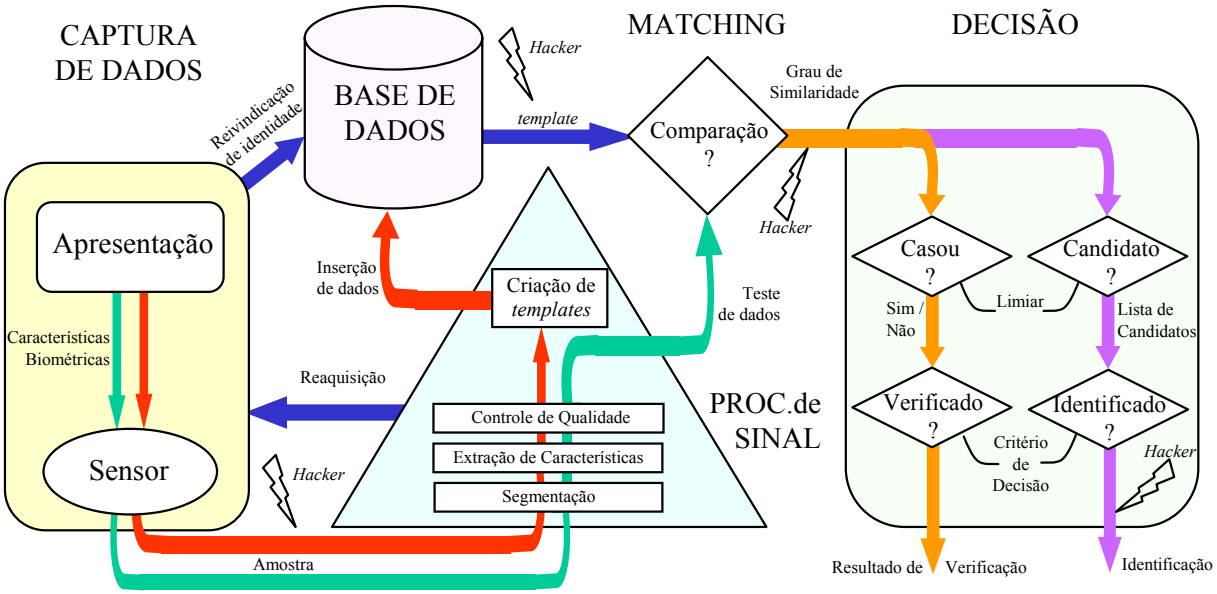


Figura 8: Diagrama de blocos de um reconhecedor biométrico e alguns pontos de ataques por hackers. Pouco adianta algoritmos sofisticados em reconhecedores de alta performance se hackers triunfam em inserir bypass de identificação (adpt. de [49, p.384] *).*

2.2.7 Classificação

"É tempo de parar de argumentar sobre qual técnica de classificação de padrões é a melhor, porque ela depende de nossos contextos e objetivos. Devemos, sim, trabalhar em um alto nível de organização e descobrir como construir sistemas gerenciais para explorar virtudes e evadir limitações de cada um destes modos de comparar coisas." *Marvin Lee Minsky, MIT* [96]

"Em vez de melhor conjunto de parâmetros e melhor classificador, devemos buscar melhor conjunto de classificadores e melhor método combinacional" *Tin Kam Ho, Bell Labs* [97, p.171-198]

Métodos de classificação de padrões estão dissociados da evolução das variações humanas (e.g., biorritmo, envelhecimento, acidentes, cirurgias plásticas, etc.). Distribuições estatísticas [92-93] de biometrias são instáveis, não parametrizáveis [94-95] e sofrem com o fenômeno de *biometric menagerie* [98]. Êxito em separações de classes são suscetíveis a objetivos e contextos, sejam os métodos complexos, sejam simples. Em outras palavras, o esforço em maximizar a performance de classificadores não assegura conclusões generalistas, pois ao se mudar a população, sensores, etc., resultados anteriores não são reaproveitáveis, a menos que haja acentuada separação entre classes. A figura 9 visualiza as dificuldades com distribuições estatísticas biométricas como imparametrizabilidade, inseparabilidade e instabilidade em uma (à direita) ou duas (à esquerda) dimensões.

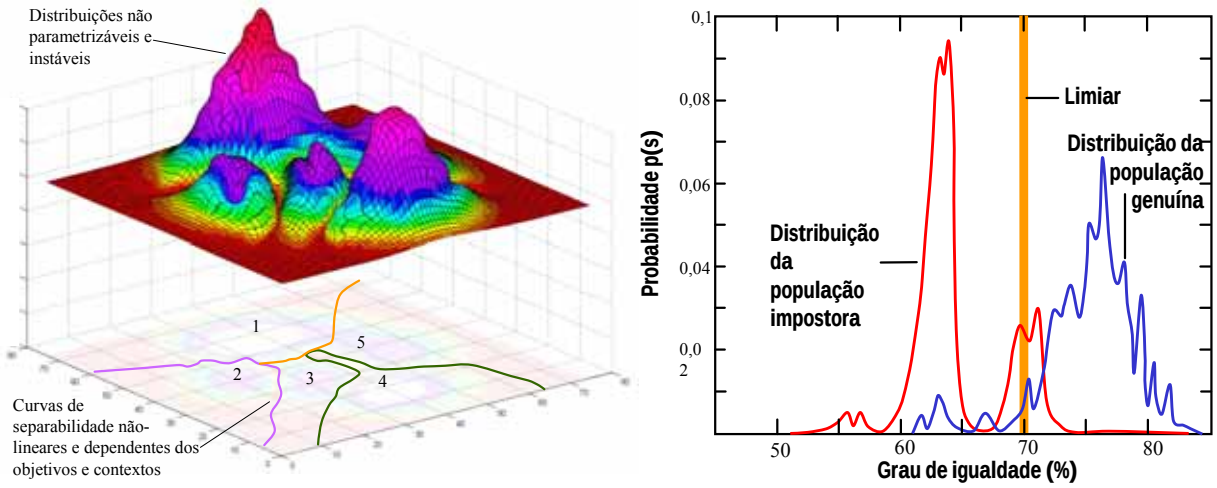


Figura 9: À esquerda: distribuição de probabilidades de cinco classes biométricas. Biometrias raramente se aproximam de distribuições parametrizáveis, e.g., normais. À direita: É possível ocorrer total ausência de margem de separação das classes genuína e impostora, i.e., seja qual for o valor do limiar, sempre haverá erros de decisão [86, p.13].

2.3 Multibiometria como Solução de Problemas

Como observam Minsky e Ho (ver 2.2.7), se um classificador não fornece acentuada separabilidade estatística, deve-se considerar o conjunto de classificadores. Ou seja, para contornar obstáculos em biometria, deriva-se, assim, a multibiometria.

A seguir, três pontos da evolução da multibiometria ao solucionar problemas apresentados na seção anterior: (2.3.1) vantagens da multibiometria, (2.3.2) melhorando a multibiometria e (2.3.3) passo adiante em multibiometria.

2.3.1 Vantagens da Multibiometria

Fusionar múltiplas biometrias melhora a performance em comparação à performance individual de cada biometria [99]. Se as múltiplas biometrias estão descorrelacionadas entre si e não se incorre na maldição da dimensionalidade [87, p.839], cada parte do corpo humano, ou cada hábito comportamental, contribui positivamente à performance final do reconhecedor (ver seção 2.2.1).

Exemplo: a voz. Várias camadas compõem a voz (semântica, idioletal, fonotática, prosódica, etc.), todas biométricas. Reconhecimento Automático de Locutor (RAL) é pesquisado há 50 anos. Técnicas aprimoraram a performance ao longo das décadas, porém ainda sem robustez para aplicações no dia-a-dia. Isoladamente, RAL pode ser considerado inadequado ao mundo real. Não obstante, RAL agrega valor e sua integração a sistemas multibiométricos deve ser sempre contemplada.

A multibiometria minimiza problemas importantes, e.g., ruído e ataques de impostores [86] (ver seções 2.2.4 e 2.2.5). Com a biometria multissensor e multimodal, descartam-se amostras de baixa qualidade e afetada por ruídos. Após descarte, ainda sobram traços suficientes para o correto reconhecimento [58], [67]. Múltiplos sensores dificultam também a ação de impostores, já que burlá-los simultaneamente é tarefa árdua, senão impossível [76].

2.3.2 Melhorando a Multibiometria

Como visto em 2.3.1, através de mais resolução, evidências e biossinais, concomitantemente a performance melhora. Entretanto, devido a incipiência da área, a maioria dos estudos atuais em multibiometria fundem apenas duas ou três biometrias, e.g., face e voz [72]. Sendo que o número de fontes pode crescer muito acima de três, se não indefinidamente.

Com poucas biometrias, decidir quem é possuidor dos traços biométricos depende de poucas e, por conseguinte, precisas decisões. Um erro pode "contaminar" as remanescentes decisões. Já um número grande de biometrias tende a simplificar métodos de classificação e fusão, pois dilui-se o processo em muitas decisões. Mesmo com erros em alguns traços, o cômputo final da combinatória suplanta-os.

2.3.3 Passo Adiante em Multibiometria

Apesar de vantagens e melhorias, a multibiometria não resolve o paradoxo da população (ver seção 2.2.2). Se as similaridades estão em todos os traços, como no caso de gêmeos MZ, o processamento de múltiplas fontes biométricas torna-se improdutivo, já que se acrescenta informações coincidentes de traços biométricos equivalentes.

Para ultrapassar limites impostos por diminuta distância genética e discernir similitude extrema, a biometria deve considerar a plasticidade fenotípica na qual o DNA não é fator determinante, mas sim, influências do ambiente e influências epigenéticas.

A próxima seção discute Assimetria Flutuante Multibiométrica como forma de salientar diferenças não predominantemente genéticas – que é o núcleo de todo restante deste estudo. Três aspectos são considerados: entropia, biologia e genética. A análise de gêmeos idênticos comprovam as assertivas. Discute-se também o estado da arte da assimetria em biometria.

2.4 Assimetria Flutuante Multibiométrica

"Não há tal coisa de dois indivíduos indiscerníveis um do outro. Nunca há dois seres exatamente iguais e impossíveis de achar uma diferença interna, ou uma fundada numa qualidade intrínseca."

G.W.Leibniz [100, p.22], [101, p.228]

"Marca na direita é a Salmabi e na esquerda é a Rahmabi". Prof. Hazzena da escola primária da cidade indiana de Kodinji com alto porcentual de MZ. Esta professora descreve seu método empírico de diferenciar MZ, no caso, duas alunas com marcas de nascença assimétricas no nariz. [102]

A primeira frase é uma elaboração filosófica da indiscernibilidade (Lei de Leibniz) [103, p.67] – inconscientemente aplicada por uma professora (segunda frase), em cuja função ela é obrigada a diferenciar vários MZ todos os dias, sem parentesco com eles e com afluxo superior à média mundial. A professora de forma empírica elaborou um método de diferenciar MZ, ao focar assimetrias da face.

Os lados bilaterais de traços biométricos (BL) são quirais (também chamados de enantiomorfos). Pertencem ao mesmo indivíduo, porém a comparação entre BL pode ser estabelecida ao se refletir (espelhar) um dos lados. Similarmente, MZ são usualmente justapostos por idiossincrasias.

As entidades MZ e BL advêm dos mesmo DNA. Não obstante, todos os traços humanos são únicos, nunca idênticos, seja BL, seja MZ. Plasticidade fenotípica em entidades com mesmo DNA exterioriza influências do ambiente e/ou epigenéticas.

Discordâncias BL e MZ são melhor analisadas a seguir neste subcapítulo. Inicialmente, discute-se o porquê da simetria e suas imperfeições sob três aspectos: 2.4.1) entrópico e em 2.4.2) genético e biológico.

Em 2.4.3, relaciona-se a assimetria flutuante com gêmeos monozigotos. MZ testam sempre os limites de implementações biométricas e a preocupação em discerni-los é constante. Em 2.4.4, a *rationale* da assimetria em biometria e em 2.4.5, um comparativo dos poucos estudos que consideram a assimetria flutuante em biometria, onde algumas deficiências são apontadas.

2.4.1 Entropia e Simetria

Aplica-se a palavra entropia a amplas áreas do conhecimento, como: informação [104-105], vida [106], termodinâmica estatística [107] e vários significados físicos [108]. Erwin Schrödinger, em seu livro "O que é vida?" [109], posicionou a vida dentro do crescimento entrópico do universo. Não-vida e vida seguem direções antagônicas. Isto é, para não-vida, entropia sempre aumenta e a simetria advém da independência e descorrelação das partes. Vida e sua coletividade social são exemplos de negentropia, e a migração de um estado simétrico a outro sempre torna mais complexa a inter-relação das partes. A figura 10 mostra a evolução das espécies ao longo do tempo, juntamente com o aumento da informação genética e neural.

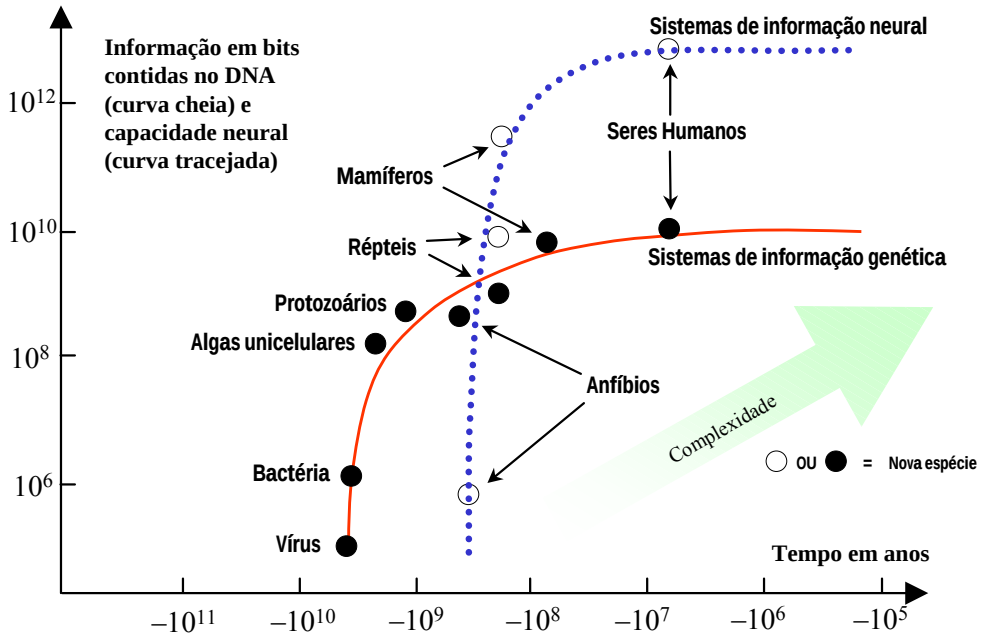


Figura 10: Evolução das espécies em função da dimensão de informações genéticas e neurais. Genética: Dois bits de informação para cada base nitrogenada Adenina(00), Guanina(01), Citosina(10) e Timina (11). Neural: um bit para cada conexão sináptica (e.g., cérebro humano há 10^{11} neurônios, cada um em média com 1000 conexões sinápticas). Não considera-se aqui as coletividades sociobiológicas. Por exemplo para humanos, comunicações e acesso a base de dados extra-somáticas elevam ainda mais a dimensão das informações. adpt. de [110, p.280].

A complexidade biológica cresce concomitante com a evolução. Em todos seres da figura 10 a simetria está presente e torna-se mais intrincada a cada nova espécie. Para humanos, negentropia varia também com a evolução social e durante a existência de um ser, e.g., negentropia ao longo da vida do homem: aumenta com aprendizado, diminui com envelhecimento e zera com a morte [111]. A diminuição da simetria corporal com a idade é indicativo da diminuição negentrópica.

2.4.2 Biologia, Genética e Simetria

A simetria biológica pode ser esférica, radial, helicoidal e bilateral. Bilateria engloba os seres mais complexos e sua simetria característica proporciona equilíbrio no principal eixo de deslocamento, duplicidade de vários órgãos e sentidos estéreos.

Nas gestações humanas, surgem entre o 15º e 21º dia os primeiros indícios de quiralidade com o aparecimento das somitas e do notocórdio. O mesmo DNA implica em divisões celulares quase-síncronas em espaços físicos distintos de cada lado bilateral. Órgãos, membros, etc., geminam-se em dois espaços físicos: lado esquerdo e lado direito. Não há aparente controle supra-somático para confrontar lados bilaterais e equilibrar a divisão celular e a assimetria bilateral ocorre, em maior ou menor grau, a todos humanos. Simetrias biológicas são analisadas em [112-113].

Grau dessimétrico pode ser sempre determinado. Maior simetria implica em melhor replicação celular, saúde, atração física. Inversamente, assimetria é indicativo de doença, desordem, instabilidade do desenvolvimento [114, p.1-36].

Assimetria BL humana pode ser temporária (e.g., acne) ou duradoura. Apenas a última é útil à biometria. Assimetria BL duradoura é causada por [115]:

> a) Funcionalidades mapeadas pelo DNA, e.g., o pulmão esquerdo é menor que o direito para acomodar o coração.
>
> b) Anormalidades do DNA, e.g., quimerismo, mosaicismo, vestigialidades, lesões, mutações, etc.
>
> c) Influências endógenas na criação ou regeneração de tecidos, como na vasculogênese, dactilogênese, iridogênese, i.e., particularidades (e.g., efeito desigual da composição amniótica entre os lados bilaterais) no momento da gênese que determinam a aparência fractal de veias, impressões digitais, íris.
>
> d) Interações exógenas, e.g., atividades físicas, infecções, acidentes, cicatrizes, etc. Quase todas células do corpo renovam-se em 7 anos, mesmo assim, danos durante e pós-gênese permanecem (e.g., cicatrizes são marcas vitalícias).

Em suma, o mesmo código genético gera entidades que se distinguem com o tempo. A seção seguinte aprofunda-se no assunto, ao comparar BL e MZ.

2.4.3 Multibiometria, Gêmeos Monozigotos e Assimetria Bilateral

Gêmeos são importantes para instigar a área biométrica. Principalmente gêmeos MZ, di- ou monocoriônicos, di- ou monoamnióticos, de gestação gemelar normal, i.e., não xifópagos, sem síndrome de transfusão feto-fetal [116], não aneuplóidicos, etc.

MZ podem ser gêmeos não-espelhados ou espelhados (mirror twins). As características dos espelhados, como marca de nascença, aparecem no lado esquerdo de um MZ e no direito do outro MZ. Sentido de rotação de cabelo horário em um MZ e anti-horário noutro. Há raríssimos casos de inversão de órgãos internos, e.g., coração no lado esquerdo para um e direito para o outro MZ. Já para MZ não-espelhados, as similitudes estão em lados congruentes.

É controversa a quantidade. Estudos apontam entre 25% a 50% de todos MZ são espelhados [89, p.277-288]. Obs: Gêmeos espelhados beneficiam reconhecedores baseados em assimetria por intensificar diferenças bilaterais.

Gêmeos MZ originam-se da divisão de um zigoto em dois (ou mais) embriões. Em 99% dos casos esta separação embrionária ocorre até o 8º dia após fertilização. A partir deste momento, o mesmo DNA implica em divisões celulares quase-síncronas em espaços físicos distintos. Cada espaço físico é um novo ser.

A ontogenia de MZ e BL se equivalem, isto é, do mesmo DNA e sem controle supra-somático, deriva-se estruturas corpóreas que deveriam ser idênticas em espaços distintos. Entretanto, após a gênese, as partes correspondentes destas estruturas corpóreas (seja BL, seja MZ) não são simétricas, mas sim quase-simétricas – com diferenças detectáveis a nível da acuidade ocular.

A discordância entre gêmeos MZ é uma extensa área de pesquisa [117]. Com enfoque em biometria, a discordância MZ é analisada sob três aspectos a seguir:

- idade;
- traços biométricos;
- descorrelação entre assimetria BL e MZ.

2.4.3.a Idade: Assimetria tende a ser aleatória e aumenta com a idade, e.g., gêmeos de 50 anos têm dissimilaridade 3 vezes maior do que aos 3 anos [118]. A figura 11 mostra que com a idade recrudescem os fatores de distinção entre MZ.

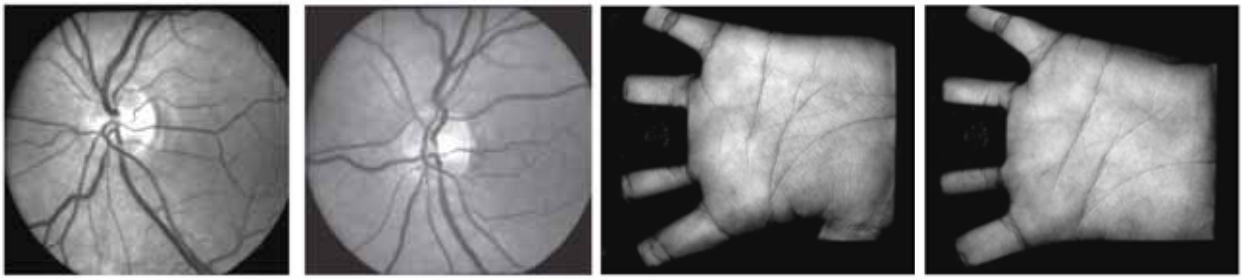
Figura 11: Três pares de MZ – o discernimento aumenta com a idade. Alguns nevos aparecem em ambos MZ, mas nunca em posições geográficas coincidentes. Em idade avançada, a textura das rugas é bem distinta. Fotos de David Teplica [89, p.277].

2.4.3.b Traços Biométricos: Vários estudos apontam que em todos traços de MZ há discordâncias [4; 119; 120]. Alguns exemplos de traços de MZ estão na figura 12.

2.4.3.c Descorrelação entre Assimetria BL e MZ: Há MZ que são mais discordantes do que suas assimetrias BL e o inverso também é verdadeiro. Entretanto, a discordância é descorrelacionada, i.e., a assimetria BL em um gêmeo é prevalentemente diferente da assimetria BL no outro gêmeo. A figura 13 mostra que contrastar BL é útil para distinguir MZ. MZ são raros (0,2% após parto [121]) e suas existências não são informadas a sistemas biométricos reais, ou seja, a princípio qualquer usuário pode ter irmão gêmeo, e sistemas não confrontam MZ para se conscientizar das diferenças. Enquanto BL podem sempre ser confrontados.

Assim, um sistema biométrico capaz de discernir os lados bilaterais humanos, isto é, dar ênfase às particularidades que façam com que o lado esquerdo seja somente identificado como esquerdo e rejeite o direito e concomitantemente o lado direito seja identificado como tal e rejeite o esquerdo, tem a capacidade de discernir gêmeos monozigotos.

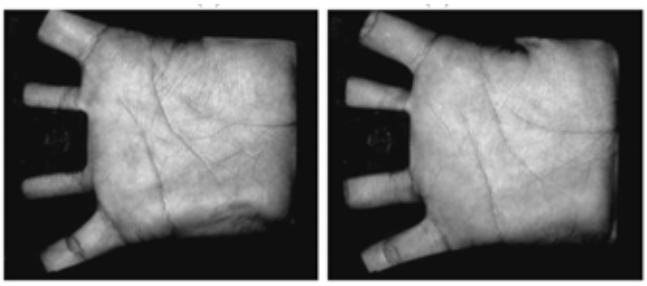
O presente trabalho visa exatamente isto, analisar assimetrias multibiométricas entre os lados bilaterais, através de técnicas de processamento digital.



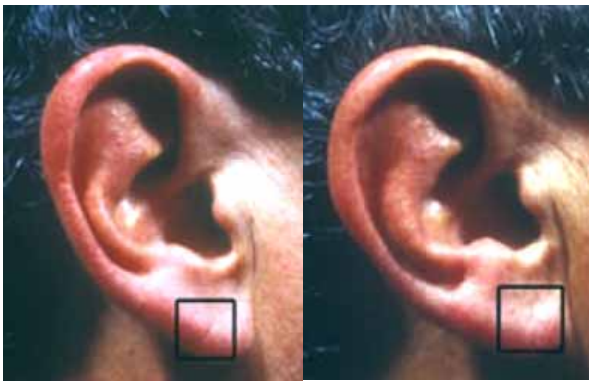
Retinas esquerdas de gêmeos

Mãos esquerdas de gêmeos

Impressões digitais de gêmeos



Mãos direitas de gêmeos



Orelha direita de gêmeos

Perfil da cartilagem nasal de gêmeos

Imagem visual de gêmeos

Imagem térmica de gêmeos

Ângulos faciais das gêmeas “A” e “B”

Figura 12: Evidências biométricas de gêmeos MZ. Fotos de [49; 60; 89].

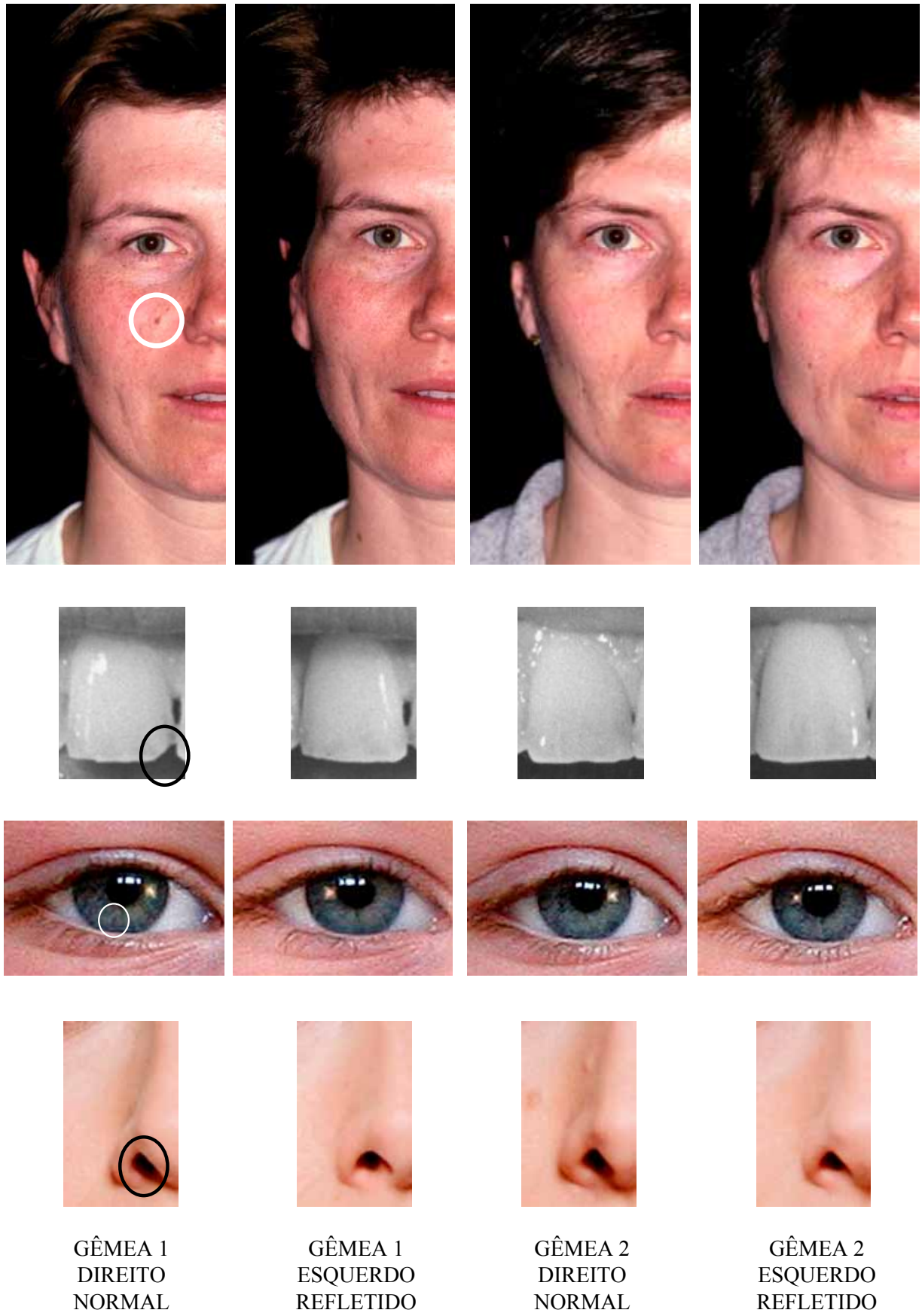


Figura 13: Assimetria BL tende a discernir MZ. Fotos de quatro pares de gêmeas. Uma característica de diferenciação entre lados direito e esquerdo serve também para se distinguir MZ. Fotos: face (D.Teplica [89]), dente (arquivo Time-Life), olho (P. Voerman), nariz (The Watson Twins).

2.4.4 Importância da Assimetria na Multibiometria

A maioria dos sistemas biométricos são holísticos. Alguns abordam idiossincrasias, mas as localizam por variação abrupta, sem se importar com BL [122]. Certos estudos fundamentam-se na simetria para rebater e recriar o traço oposto se contaminado por ruído ou oclusões [123-124]. Entretanto, raros estudos consideram a assimetria humana monobiométrica; e nenhum, multibiométrica. Como anteriormente salientado, a assimetria flutuante, por depender menos do código genético e enfatizar influências epigenéticas e ambientais, deve ser melhor explorada.

Este estudo realça as vantagens da análise BL, não só desalinhamentos, mas inclui assimetria em textura e morfologia de vários traços humanos. A seção seguinte aprofunda-se em alguns estudos sobre Assimetria Flutuante Monobiométrica para alicerçar a base da implementação multibiométrica do capítulo 3.

2.4.5 Comparação de Estudos que Associam Assimetria à Biometria

Os artigos [125-135] exploram a assimetria monobiométrica (facial ou de orelhas). Destes onze artigos, alguns repetem autores e são evoluções de estudos anteriores. Consideram-se aqui quatro artigos [134], [127], [135] e [125] para avaliação:

[134] *"Analyzing asymmetry biometric in the frequency domain for face recognition"* de S. Mitra e M. Savvides.

[127] *"Biometrics of asymmetrical face"* de L. Kompanets.

[135] *"Empirical Evaluation of Advanced Ear Biometrics"* de P. Yan e K. Bowyer.

[125] *"Towards understanding the symmetry of human ears: a biometric perspective"* de A. Abaza e A. Ross

Os artigos [134, 127] tratam de reconhecimento facial e os artigos [135, 125] abordam biometrias das orelhas. A tabela 3 enfatiza os pontos relevantes. As figuras 14 a 17 são detalhes extraídos de [134], [127], [135] e [125], respectivamente. Obs: Mitra e Savvides [134] usaram dados de Liu et al. [129] (1º trabalho sobre assimetria biométrica) que aparecem na fig. 14.

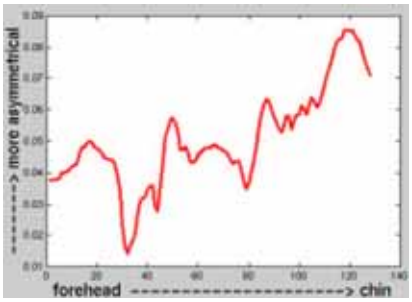
Estudos	Características	Observações e Deficiências
[134]	Utilização da parte imaginária no domínio da freqüência linha a linha de uma imagem de 128 x 128 pixels.	Sequenciamento por linha reta não considera corretamente deslocamento, distorções, rotações que ocorre em três dimensões entre os traços biométricos do lado bilateral em relação ao outro.
[127]	Reconhecimento de faces através de ligações lineares obtidas de pontos pré-estabelecidos.	Ênfase em desalinhamentos da face através de retas geométricas. Imprecisões no posicionamento das retas são danosas a esta solução. Não há considerações sobre assimetrias em contornos e textura.
[135]	Uso de PCA e ICP para reconhecimento de orelhas com enfoque em assimetria.	O método conclui que a maioria das orelhas são simétricas (*sic*). Porém, a determinação de simetria ou assimetria é visual e arbitrária.
[125]	Aplicação da transformada da simetria ao contorno de orelhas confrontadas lado a lado.	O grau de simetricidade relaciona o que é simétrico sobre o assimétrico, sendo que assimetrias são diminutas e suas dimensões perante partes simétricas são computacionalmente desvantajosas.

Tabela 3: Comparação de quatro estudos sobre assimetria monobiométrica.

A implementação do capítulo 3 contorna as deficiências da tabela 3 ao considerar deslocamentos, distorções, rotações; inclusão de textura; separação da parte assimétrica da simétrica. Denomina-se PB a técnica que corrige estas deficiências (ver próximo capítulo).

Face Normal

D-face: diferença da imagem com a refletida



Variação do grau de assimetria de uma pessoa da testa ao queixo

$$x(n) = \overbrace{x_e(n)}^{par} + \overbrace{x_o(n)}^{ímpar}$$

onde:

$$x_e(n) = 1/2\,(x(n) + x(-n))$$

$$x_o(n) = 1/2\,(x(n) - x(-n))$$

Método	Classificação errada
D-face	17,58%
Baseado em freqüência	6,36%

Figura 14: Estudo [134]: *Figuras da parte superior descrevem o método da diferença (D-face), i.e., a imagem subtraída da imagem refletida usada no estudo* [129]. *O método em freqüência pondera as assimetrias da parte imaginária da transformada de Fourier,* $\Im(x_o(n))$, *sobre a parte real,* $\Im(x_e(n))$, *de uma imagem x(n). Resultados indicam que a performance é 11,22% melhor em relação à D-face.*

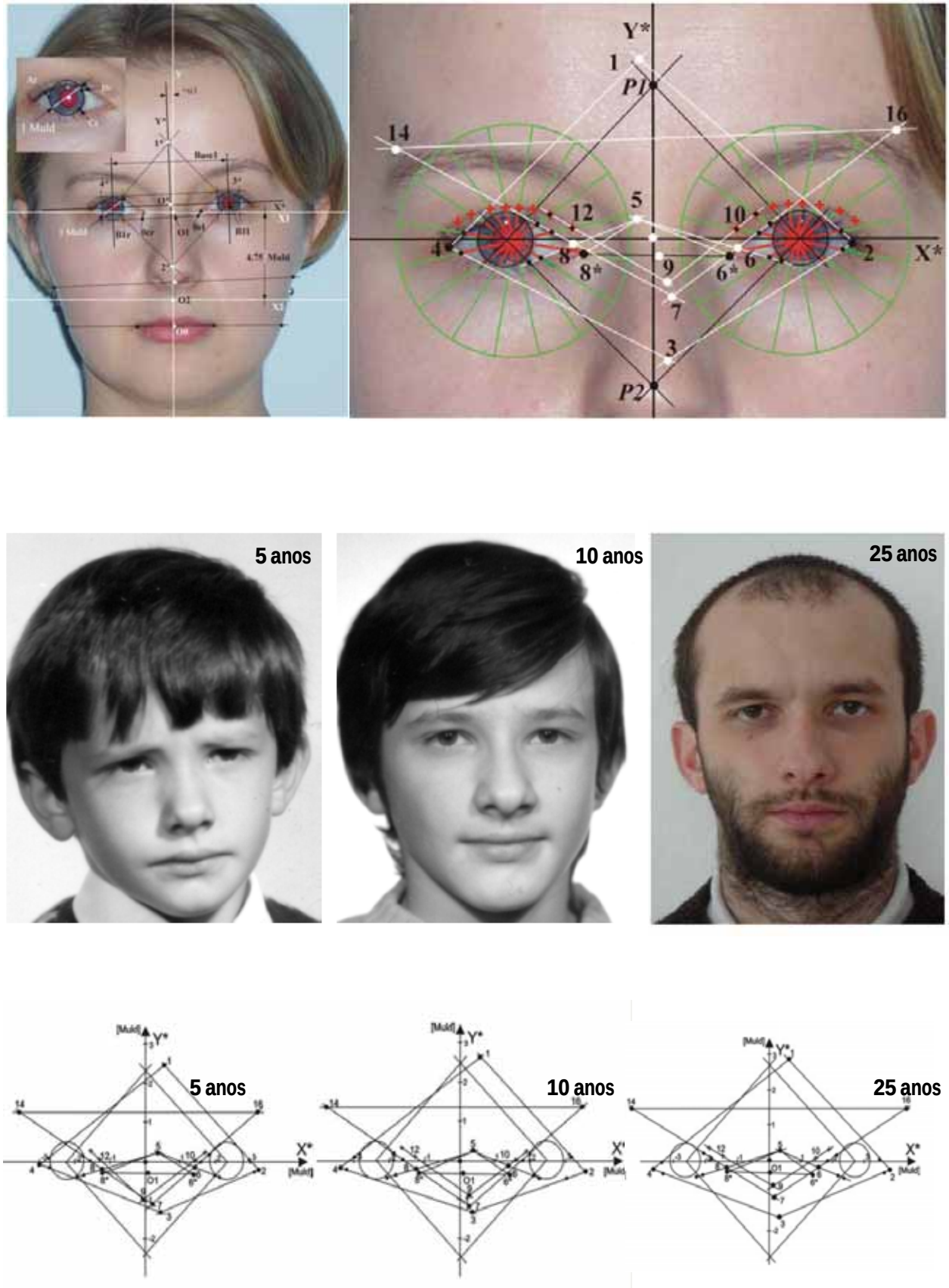
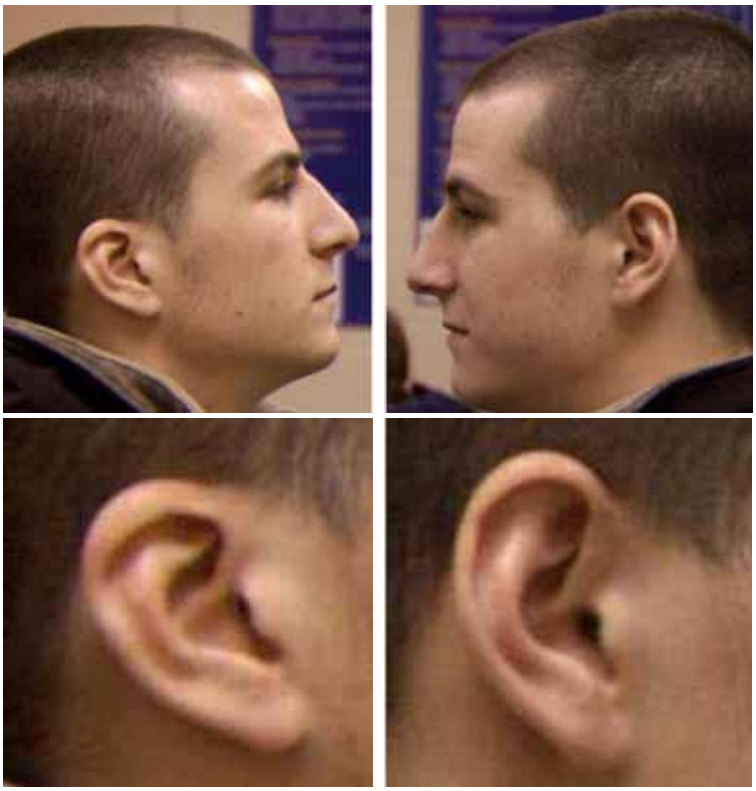


Figura 15: Estudo [127]. *Este estudo utiliza-se do padrão oftalmogeométrico, assimetrias da face e cérebro na obtenção do algoritmo de criação da face de Czestochowa (termo introduzido no artigo). Apenas os desalinhamentos assimétricos faciais são levados em consideração.*



Orelha direita *Orelha esquerda refletida*

Exemplo de Orelhas Assimétricas segundo [135]

Figura 16: Estudo [135]: *A forma como classificar simétrico ou assimétrico deste estudo é subjetiva, já que sempre deve haver compensações de diferentes ângulos, tamanhos e iluminação para se determinar o grau de simetria. Por exemplo,* [135] *chamou de assimétricas as orelhas acima.*

$$C(p_i, p_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{\|p_i - p_j\|}{2\sigma}} (1 - \cos(\arctan(g_{y_i}/g_{x_i}) + \arctan(g_{y_j}/g_{x_j}) - 2\arctan((y_j - y_i)/(x_j - x_i))))(1 - \cos(\theta_i - \theta_j)) \log\left(1 + \sqrt{g_{x_i}^2 + g_{y_i}^2}\right) \log\left(1 + \sqrt{g_{x_j}^2 + g_{y_j}^2}\right)$$

Figura 17: Estudo [125]. *O artigo aplica a transformada da simetria, representada pela equação* $C(p_i, p_j)$ *acima às orelhas esquerda e direita justapostas ao lado. Esta transformada designa uma magnitude da simetria a cada pixel para construir um mapa de simetria. Como se considera toda a orelha, computacionalmente a parte simétrica tende a mascarar a parte assimétrica.*

Capitulo 3 NOVA TÉCNICA MULTIBIOMÉTRICA BASEADA EM ASSIMETRIA

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta a técnica de Processamento Bilateral (PB), com mais detalhes que em [136,137]. Aspectos gerais da técnica são vistos na seção 3.2, e aspectos específicos de uma implementação PB nas seções 3.3 a 3.5, isto é, valida-se e testa-se o PB genérico através de implementação PB específica via: (3.3) múltiplos sensores, (3.4) múltiplos algoritmos e (3.5) a fusão destas múltiplas fontes.

A seção 3.2, Processamento Bilateral, expõe duas premissas importantes à técnica originadas de observações biológicas: complexidade da dicotomia e quase-simetria. Estas duas premissas refletem-se no fluxograma, exibido em seqüência, junto às vantagens inerentes da técnica em relação aos métodos convencionais. A incorporação da técnica PB no diagrama de blocos de um reconhecedor genérico finaliza 3.2.

Há inúmeras formas alternativas de testar PB e buscou-se abrangência nos testes. Os três sensores para aquisição de dados ao Processador Bilateral são vistos na seção 3.3: visível, infravermelho e acústico.

A seção 3.4 traz três algoritmos de teste do PB. O confronto de validação não é entre algoritmos, mas sim, PB versus sem-PB em condições justas, i.e., com PB e sem-PB com mesmo custo (memória e tempo de processamento equivalentes – ver seção 4.2.3). Assim, a explanação de cada um dos três algoritmos está dividida em cinco partes: quatro delas relativas ao PB (Alinhamento, Segmentação, Bilaterismo e Classificação) e por último, a implementação de confronto, o correspondente algoritmo adaptado sem-PB.

A seção 3.5 discute a técnica da compilação conjunta de múltiplas fontes. O número grande de fontes (sete) implica na simplificação da fusão, podendo-se optar por técnicas mais simples, como voto da maioria ou ranqueamento.

3.2 Processamento Bilateral (PB)

O Processamento Bilateral discerne lados bilaterais. Para isto, incorpora duas facetas da estrutura corpórea humana: a complexidade da dicotomia esquerda-direita (3.2.1) e a quase-simetria (3.2.2), ambas integradas ao fluxograma da técnica PB (3.2.3). A seção 3.2.4 mostra a inerente vantagem de PB, i.e., a possibilidade de realizar comparações a partir de apenas uma amostra. E em 3.2.5 a inclusão do Processamento Bilateral em um sistema reconhecedor biométrico.

3.2.1 Complexidade da Dicotomia

Biologicamente, não existe um plano sagital perfeito cortando o corpo em dois hemisférios. Os lados bilaterais de cada traço estão deslocados, rotacionados, distorcidos entre si, e o ideal se estas operações são efetuadas em três dimensões.

Para elucidar, a figura 18 exacerba assimetrias. Como se nota no desenho à esquerda, não é linear o medial da face. Para um rebatimento central do lado esquerdo sobre o direito, observa-se na diferença de imagens (fig.18 ao centro) como os traços estão incongruentes – e cada um deles necessita ser deslocado, rotacionado, distorcido em relação ao outro para maximizar as similaridades (como os olhos na fig.18 à direita).

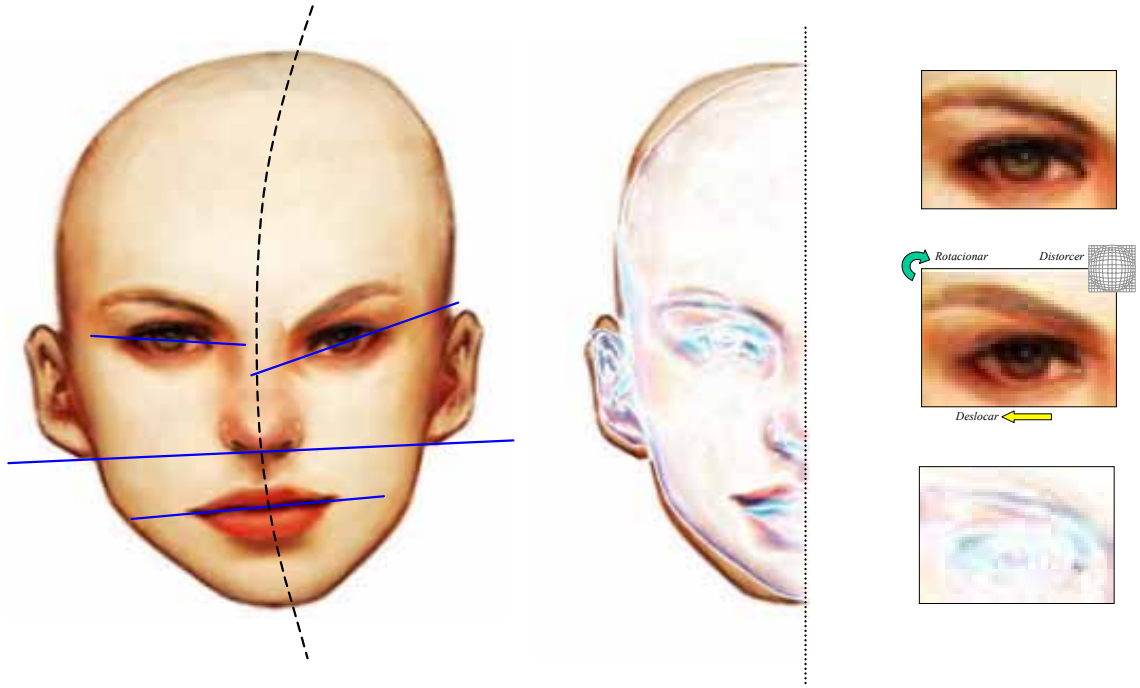


Figura 18: Complexidade da dicotomia. O desenho simula uma projeção 2D. O processo ideal de deslocamento, rotação, distorção deve ser feito em 3D.

<u>Conseqüência da Complexidade da Dicotomia:</u> *(a análise refere-se a imagens 2D, mas os princípios são os mesmos em 3D).* Para compensar a dicotomia complexa é necessário registrar imagens. Como as imagens esquerda e direita não são idênticas, faz-se uso de pontos de referências comuns no mapeamento. A transformação afim da imagem de um dos BL de coordenadas [*x,y*] a [*x',y'*] objetiva maximizar as congruências dos pontos de referências em relação ao lado bilateral oposto:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

O processo começa com a reversão da quiralidade via reflexão horizontal:

$$a_0 = -1; \quad a_1 = 0; \quad a_2 = 0; \quad b_0 = 0; \quad b_1 = 1; \quad b_2 = 0; \tag{2}$$

Seguem vários mapeamentos, como translação com deslocamento [t_x, t_y]:

$$a_0 = 1; \quad a_1 = 0; \quad a_2 = t_x; \quad b_0 = 0; \quad b_1 = 1; \quad b_2 = t_y; \tag{3}$$

ou dilatação [s_x, s_y]:

$$a_0 = s_x; \quad a_1 = 0; \quad a_2 = 0; \quad b_0 = 0; \quad b_1 = s_y; \quad b_2 = 0; \tag{4}$$

ou rotação de ângulo θ:

$$a_0 = cos\,\theta; \quad a_1 = -sen\,\theta; \quad a_2 = 0; \quad b_0 = sen\,\theta; \quad b_1 = cos\,\theta; \quad b_2 = 0; \tag{5}$$

ou transvecção *m*:

$$a_0 = 1; \quad a_1 = m; \quad a_2 = 0; \quad b_0 = 0; \quad b_1 = 1; \quad b_2 = 0; \tag{6}$$

Idem para outros mapeamentos lineares. Há que considerar também transformações não-lineares, como a distorção espacial (*warp*). Abaixo, um exemplo de mapeamento *warp* polinomial de segunda ordem:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ x^2 \\ xy \\ y^2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

Várias destas transformações acima requerem reamostragem geométrica da imagem, para isto faz-se uso de técnicas usuais de interpolação, como bicúbica ou bilinear.

3.2.2 Quase-Simetria

Ao se comparar lados bilaterais de traços biométricos, observa-se que há mais partes congruentes do que distintas. Assimetrias, perante o espaço ocupado por simetrias, são em média 1% a 2%.

Sistemas biométricos de assimetria flutuante que usam o grau de assimetria sobre simetria sofrem com mascaramento computacional, i.e., cerca de 98% de espaço idêntico bilateralmente torna-se redundante e desnecessário. Assimetrias devem ser localizadas e segregadas dos traços quase-simétricos e então, independentemente processadas.

A figura 19 ilustra através de desenhos simples o mascaramento computacional e o compara ao método de localização e segregação das diferenças. Dois quadrados quase-simétricos "1" e "2" são correlacionados. O gráfico da correlação cruzada "1" ° "2" = "3" é indistinguível da autocorrelação "1" ° "1" = "4". Ao extrair a região que distingue os dois quadrados em "5" e "6", observa-se que a correlação cruzada entre "5" ° "6" = "7" é bem distinta da autocorrelação "5" ° "5" = "8". Reduzir, portanto, a dimensionalidade a "5" e "6" basta para caracterizar assimetrias.

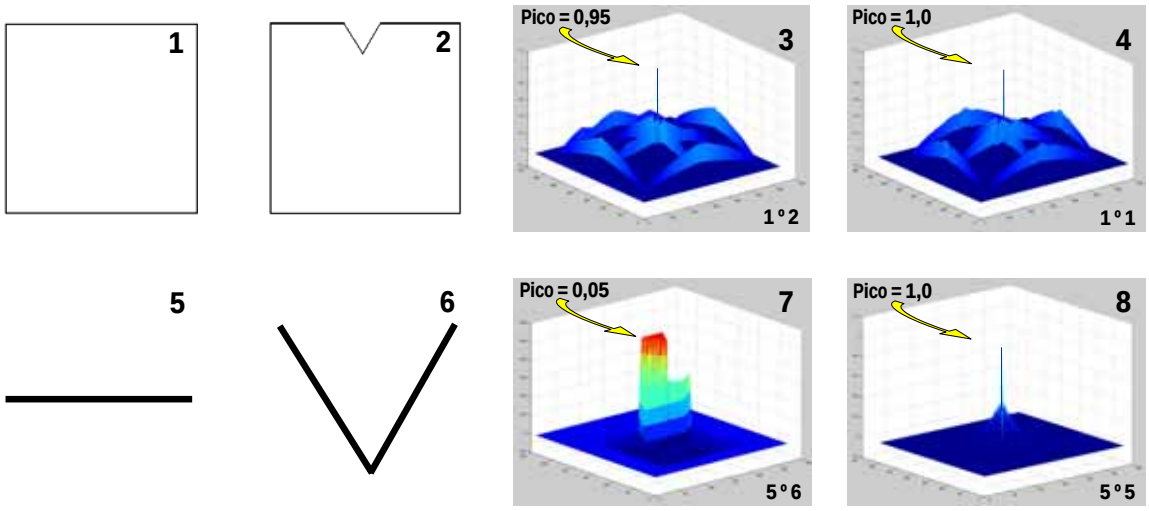


Figura 19: Mascaramento computacional da quase-simetria. **1** *e* **2** *são duas imagens com pequena diferença entre elas.* **3** *é a correlação cruzada normalizada entre* **1** *e* **2**. **4** *é a autocorrelação normalizada de* **1**. *A diferença entre os gráficos* **3** *e* **4** *é pequena, pois há excesso de informação desnecessária. A representação da assimetria bilateral requer que pequenas diferenças recebam ponderação muito maior do que as áreas quase idênticas.* **1** *e* **2** *são segmentadas e segmentos que apresentam correlação elevada são descartados. Restam, portanto as figuras* **5** *e* **6**, *cuja correlação cruzada normalizada (***7***) é bem distinta da autocorrelação (***8***).*

<u>Conseqüência da Quase-Simetria</u>: A assimetria A de sinais biofísicos (imagens, sons, etc.) é obtida ao se confrontar traços esquerdo (E) e direito (D) via operador "*":

$$A = \langle E * D \rangle \tag{8}$$

Os sinais biofísicos E e D podem ser particionados equivalentemente em segmentos S^E e S^D, assim (8) é idêntico a:

$$\langle E * D \rangle = \langle \sum_i S_i^E * \sum_j S_j^D \rangle \tag{9}$$

$$\text{onde} \quad \begin{cases} E = \sum_i S_i^E & (10) \\ D = \sum_j S_j^D & (11) \end{cases}$$

Não há sentido no confronto de segmentos $i \neq j$, portanto a lista de α_i limita-se a:

$$\alpha_i = \langle S_i^E * S_i^D \rangle \tag{12}$$

O operador "*" deve ser escolhido de tal forma que α_i signifique o contraste de relevâncias biométricas bilaterais. Como trata-se de quase-simetria, a maior parte de α_i é nulo ou próximo de zero e em poucos casos, α_i apresenta valores exacerbados. De posse da lista de α_i , há dois caminhos de implementação:

- o par de sinais biofísicos é ponderado por α_i, e assim segmentos de pouco contraste são menos relevantes e os de alto contraste são preponderantes na seqüência do processo de identificação via assimetria.
- Através de limiar, reduz-se a dimensionalidade descartando segmentos de α_i inferiores a um limiar, restando apenas os segmentos com α_i elevado.

O operador "*" ideal é aquele que leve α_i a expressar independência estatística, ortogonalidade ou descorrelação entre os segmentos esquerdo e direito. Por outro lado, deve-se considerar a eficiência computacional. Assim, dois candidatos a operador "*" que exprimem contraste e facilidade computacional podem ser:

- correlação cruzada;
- diferença.

3.2.3 Fluxograma

O fluxograma da figura 20 apresenta o Processamento Bilateral dividido em três partes: Alinhamento, Segmentação e Bilaterismo.

- Alinhamento é conseqüência da dicotomia complexa, i.e., o lado direito é deslocado, rotacionado e distorcido até melhor se alinhar com o esquerdo. Inicia-se com inversão da quiralidade e então, os dois lados são recursivamente comparados através de rotação, deslocamento e distorção até o melhor alinhamento (vide mapeamentos lineares e não-lineares em 3.2.1).

- Segmentação é onde os traços biométricos esquerdo e direito são sub-divididos em vários segmentos. Segmentação é a fragmentação computacional necessária para lidar com entidades quase-simétricas.

- Bilaterismo é a análise par a par dos segmentos esquerda e direita em busca do grau de assimetria α_i (vide 3.2.2). Ao final da análise obtém-se a lista dos pares de segmentos e seu grau de ponderação ou reduz-se a dimensionalidade ao eliminar os pares menos discrepantes.

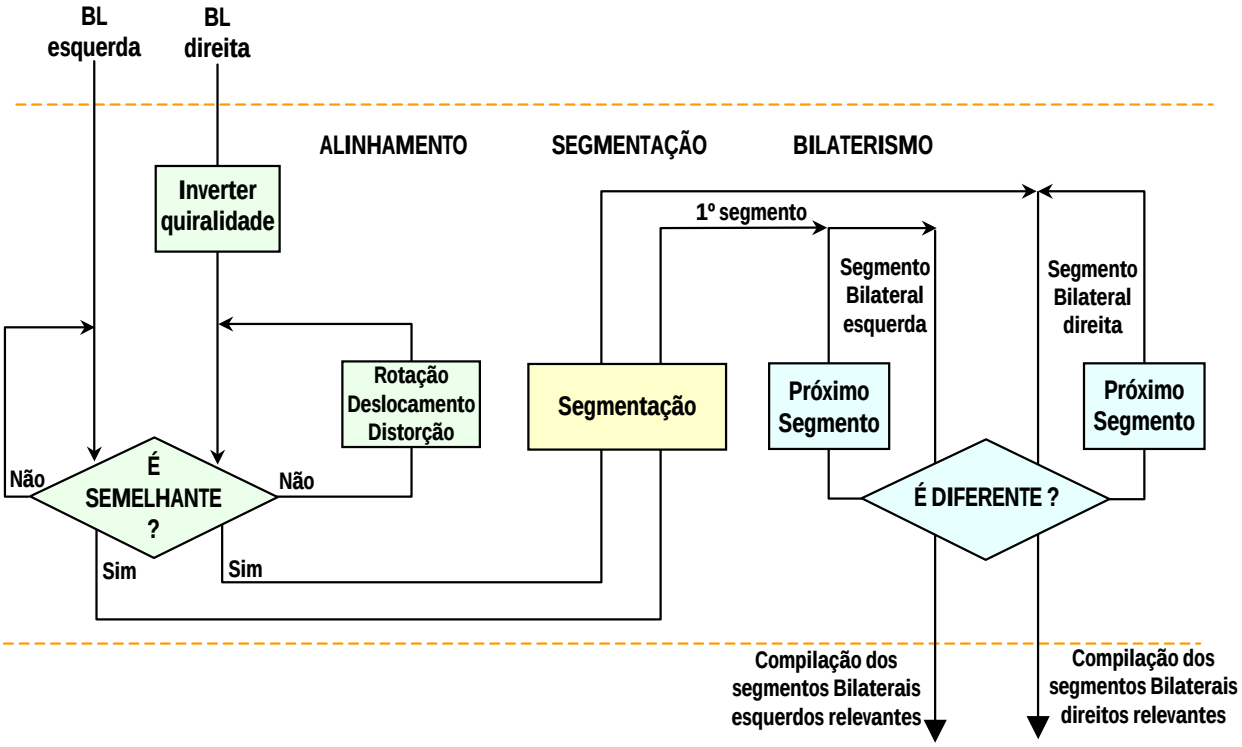


Figura 20: Fluxograma do Processamento Bilateral.

3.2.4 Vantagens Inerentes do Processamento Bilateral

O Processamento Bilateral introduz algo novo ao estudo biométrico: a comparação contemporânea, isto é, comparar dados obtidos ao mesmo tempo pelo mesmo sensor e sob as mesmas condições do ambiente.

A figura 21 explicita as comparações introduzidas. Na biometria usual, que desconhece lados bilaterais, são usadas as comparações "1" e "2". A biometria bilateral introduz as comparações contemporâneas "3" e "4" realizadas no momento de um novo dado.

Não é necessário "1", "2", "3" e "4" estarem presentes simultaneamente em uma implementação. Várias combinações são possíveis. Por exemplo, com "1", "2" e "3" pode-se considerar a comparação "4" redundante. Ou então, com "3", "4" e o mapeamento das discrepâncias α_i, dispensa-se o armazenamento de *templates*.

Além das vantagens das comparações contemporâneas, como visto em 3.2.2, a técnica PB pode reduzir dimensionalidade ao se eliminar pares de segmentos com baixa divergência.

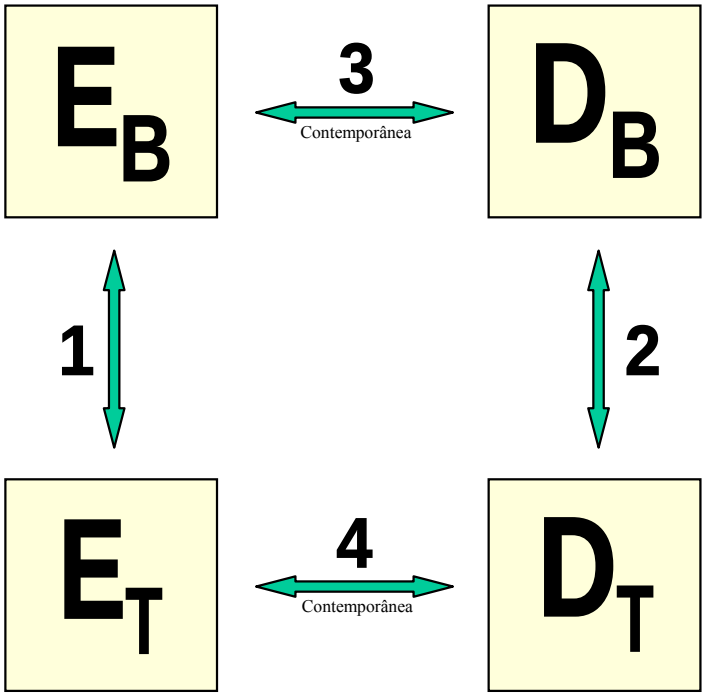


Figura 21: Comparações em PB. "E" representa a biometria esquerda, "D" a direita. O sufixo "B" a base de dados adquirida e "T" as biometrias em teste. Os números "1", "2", "3" e "4" são as comparações.

3.2.5 Diagrama de Blocos do Reconhecedor de Assimetrias Multibiométrico

A figura 22 mostra o diagrama de blocos do reconhecedor PB (particularizado à biometria da íris) divido em:

- Sensor: Aquisição do usuário simultaneamente e nas mesmas condições as amostras esquerda e direita.
- Pré-processamento: função de ajustar amostras esquerda e direita para que tenham características equivalentes.
- Processamento Bilateral: concomitantemente à parametrização das amostras, realiza-se o alinhamento, segmentação e bilaterismo (ver 3.2.3).
- Classificação: Neste bloco os parâmetros são colocados em um espaço multidimensional e a decisão é tomada ao se confrontar a base de dados com o teste.
- Fusão: corresponde à aglutinação das múltiplas decisões biométricas.

A figura mostra o trajeto da amostra nas fases de treinamento e testes. Na fase de testes recebe-se a lista dos segmentos mais relevantes para que sejam selecionados para a classificação. As seções 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam respectivamente os sensores, algoritmos de PB e classificação, e fusão implementados.

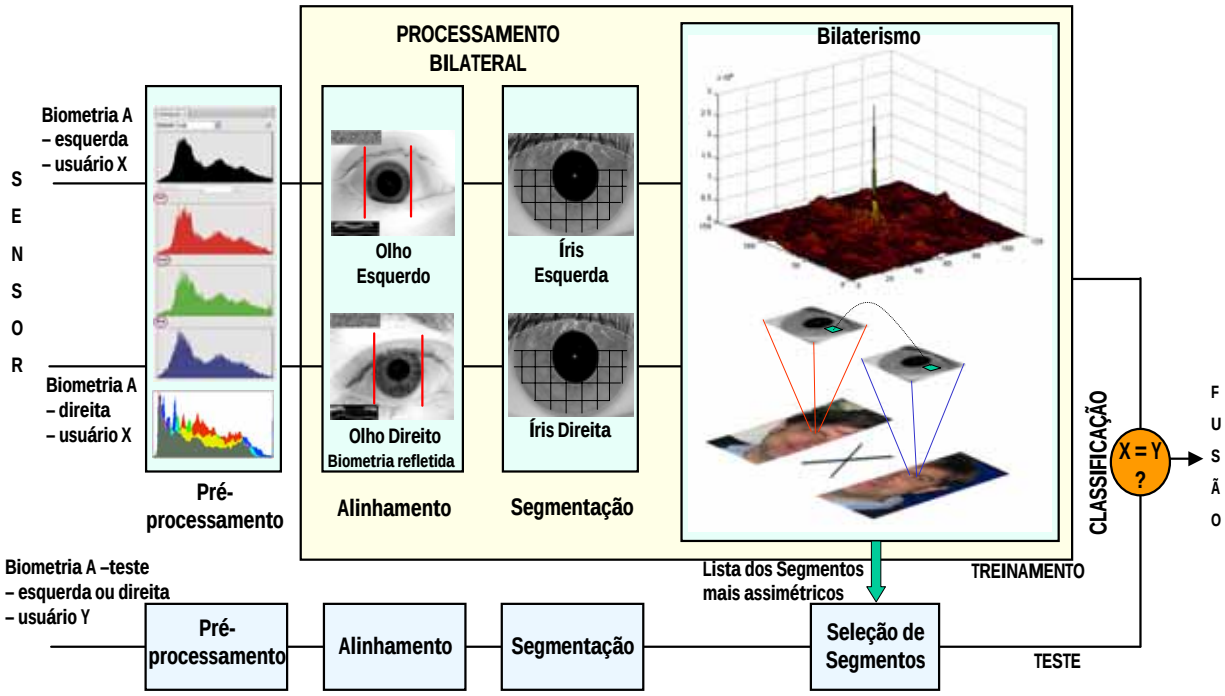


Figura 22: Diagrama de blocos simplificado do Reconhecedor de Assimetrias Multibiométricas PB.

3.3 Sensores

A referência [138] associa vários sensores em aplicações multimodais. Há muitos biosinais que podem ser utilizados na determinação de assimetrias humanas. As composições químicas dos odores exalados são levemente distintas nos lados esquerdo e direito do corpo. A visualização via MRI de ossos e órgãos permite diagnosticar desbalanceamentos na constituição interna. E assim por diante.

A escolha, porém, dos sensores para implementação PB baseia-se no efeito conjunto de uma série de fatores como não-intrusividade, mobilidade, reprodutibilidade e acessibilidade. Sensores de ondas eletromagnéticas de 10^{11} a 10^{16} Hz preenchem estes requisitos, i.e., sensores das faixas infravermelha, visível e ultra-violeta. Descarta-se, entretanto, a ultra-violeta já que a bioluminescência nesta faixa requer sensores sofisticados e ultra-sensíveis.

Adotaram-se os seguintes sensores explanados nas seções subseqüentes:

- 3.3.1) Captura de imagem no espectro visível (com comprimentos de onda entre 390 nm e 750 nm);
- 3.3.2) Captura de imagem infravermelho longo (com comprimentos de onda entre 8 μm e 14 μm).

O intento é o uso de sensores de alta resolução. Contudo, há desequilíbrio: sensores do espectro visível disponíveis possuem resolução muito superior a dos infravermelho. Câmeras infravermelho acima de 1 megapixels restringem-se, no momento, apenas a aplicações militares. Devido a isto, a câmera no espectro visível adotada possui resolução de 21 megapixels e 1000 vezes a resolução do sensor infra-vermelho. Para este último, optou-se por sensores compactos, móveis e de baixo custo.

Para não se limitar a sensores de ondas eletromagnéticas, empregou-se também:

- 3.3.3) Captura de assimetria da voz via sensores acústicos.

O uso dos sensores 3.3.3 representa um grande desafio. Enfatizar a acústica da voz em três dimensões através dos efeitos vibracionais na pele do locutor não é trivial. O sensor ideal seria sem contato e não-intrusivo, mas devido a limitações e transigências, utilizaram-se microfones de contato para captura das vibrações.

3.3.1 Captura de Imagem no Espectro Visível

A faixa de 390 nm a 750 nm corresponde ao espectro da luz visível a seres humanos. O número de fótons incidentes em um pixel do sensor visível relaciona-se a:

$$\frac{p}{I_0 \tau} = k \frac{\rho}{\beta} \left(\frac{z}{f/\#} \right)^2 \tag{13}$$

onde p é o número de fótons por pixel, I_0 é a iluminação na pessoa, τ é o tempo de exposição, k é constante, ρ é refletividade, β é o ângulo sólido da luz espalhada, z é o tamanho do pixel, $f/\#$ é a abertura da lente [139]. Mais resolução no sensor, ou seja, menor z, requer melhores soluções eletro-óticas como menor: $f/\#$, aberração esférica, astigmatismo, curvatura de campo, ruído de imagem, *cross-talk* fotônico, etc.

O estado da tecnologia atual dispõe de sensores na ordem de dezenas de megapixels e soluções eletro-óticas apropriadas com custo e aquisição acessíveis.

A resolução da câmera escolhida para este estudo é de 5616 × 3744 pixels (14-bits) e a lente, 65 mm f/2,8 com aumento de até 5 vezes. A figura 23 mostra a câmera e a lente. A figura 24 exibe a captura via este sensor da íris de uma das pessoas em teste.

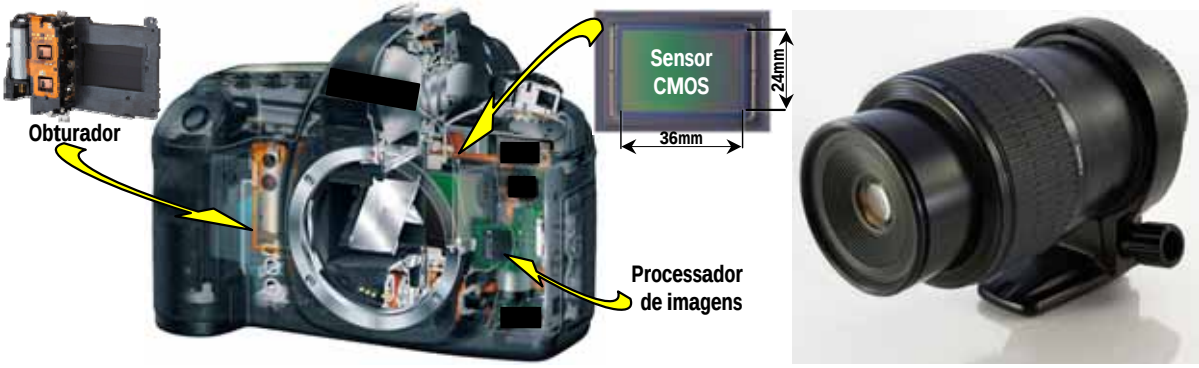


Figura 23: DSRL de sensor CMOS full-frame de 21 Mpixel e lente 65 mm f/2,8 1-5x (foto: Canon).

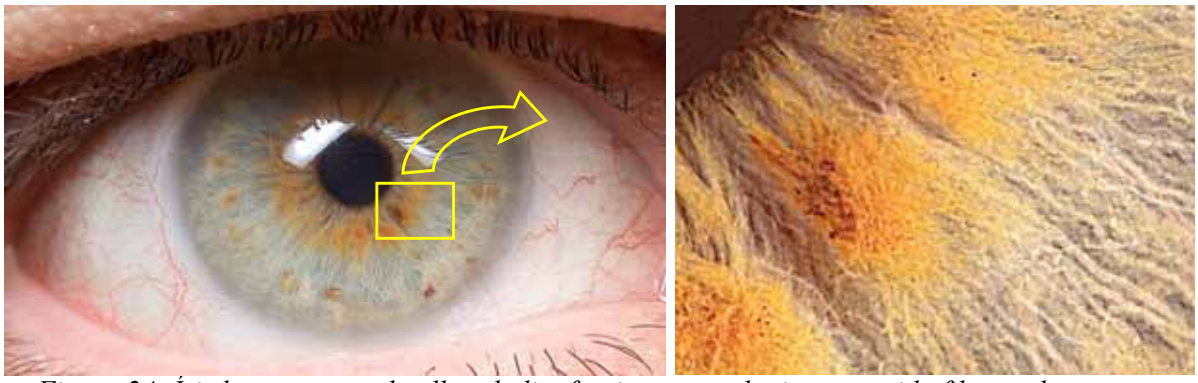


Figura 24: Íris humana com detalhes da lipofuscina e eumelanina no tecido fibroso do estroma.

3.3.2 Captura de Imagem Infravermelho Longo – LWIR

O espectro infravermelho apresenta as seguintes subdivisões [140-142]:

- •Infravermelho próximo (Near-infrared – NIR): 0,75 µm a 1,4 µm;
- •Ondas curtas infravermelho (Short-wavelength infrared – SWIR): 1,4 µm a 3 µm;
- •Ondas médias infravermelho (Mid-wavelength infrared – MWIR): 3 µm a 8 µm;
- •Ondas longas infravermelho (Long-wavelength infrared – LWIR): 8 µm a 14 µm;
- •Infravermelho afastado (Far infrared – FIR): 14 µm a 1.000 µm.

Todas faixas são importantes à biometria, como se vê com NIR e FIR na fig.25:

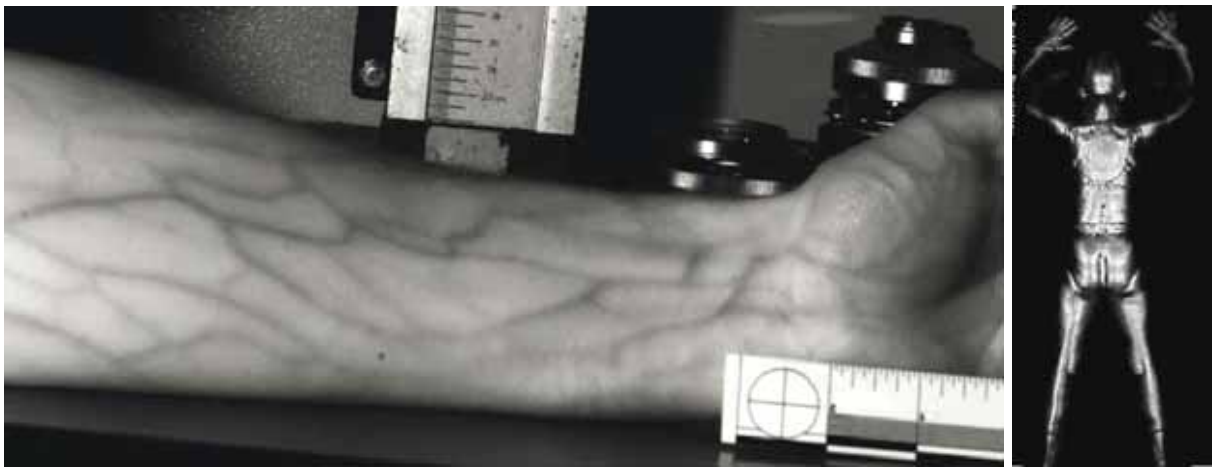


Figura 25: Foto à esquerda – NIR, foto à direita – FIR. NIR: Braço iluminado entre 880 a 930nm. Nesta faixa a hemoglobina possui elevada absorção da luz recebida, ressaltando as veias (foto: Fujifilm). FIR: Estrutura corpórea obtida através de radiação THz (foto: Brijot).

A absorção atmosférica afeta faixas IR e seu efeito deve ser abalizado:

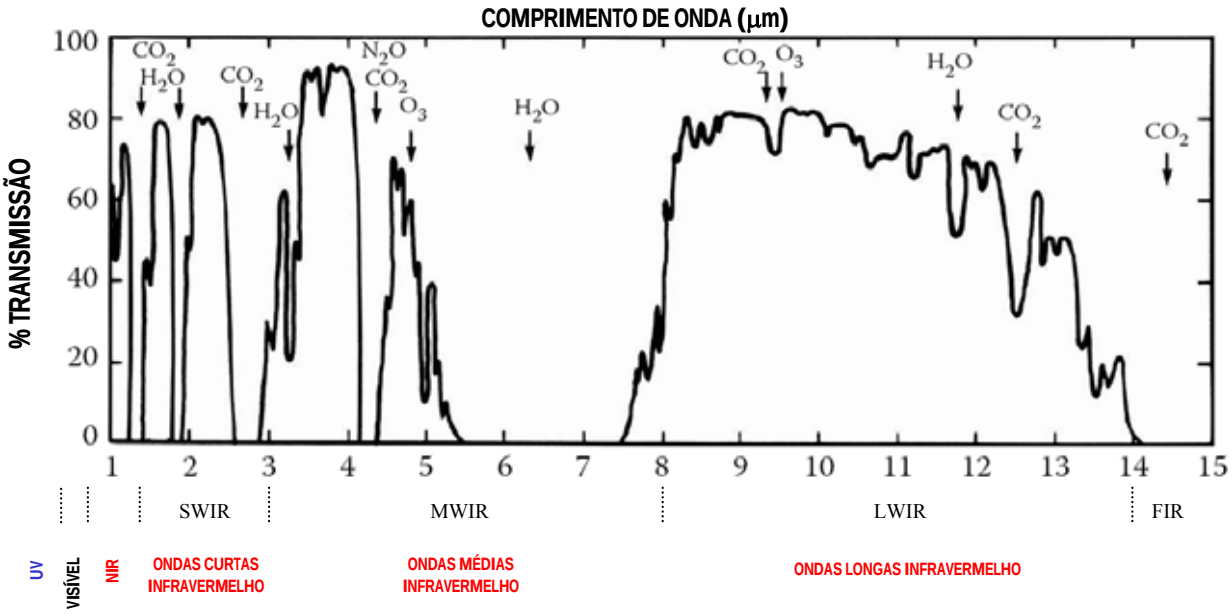


Figura 26: Espectro visível e infravermelho e o efeito da absorção atmosférica (adpt. de [143, p.3]).

A equação de Planck é:

$$I(\lambda,T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}\right) \tag{14}$$

onde $I(\lambda,T)\,d\lambda$ é a quantidade de energia por área de superfície por tempo por ângulo sólido entre λ e $\lambda + d\lambda$ por um corpo negro de temperatura T; h é a constante de Planck; c é a velocidade da luz; k é a constante de Boltzmann; λ é o comprimento de onda da radiação eletromagnética; T é a temperatura. Desenvolvendo esta equação para corpos humanos, observa-se que o pico de emissão é ao redor de 9,5 μm, incluso em LWIR. LWIR é importante à biometria ao mostrar a bioatividade próxima à epiderme *(fig.27)*. LWIR coincide com baixa absorção atmosférica *(fig.26)* e dispensa iluminação auxiliar ao se aproveitar a emissão corpórea.

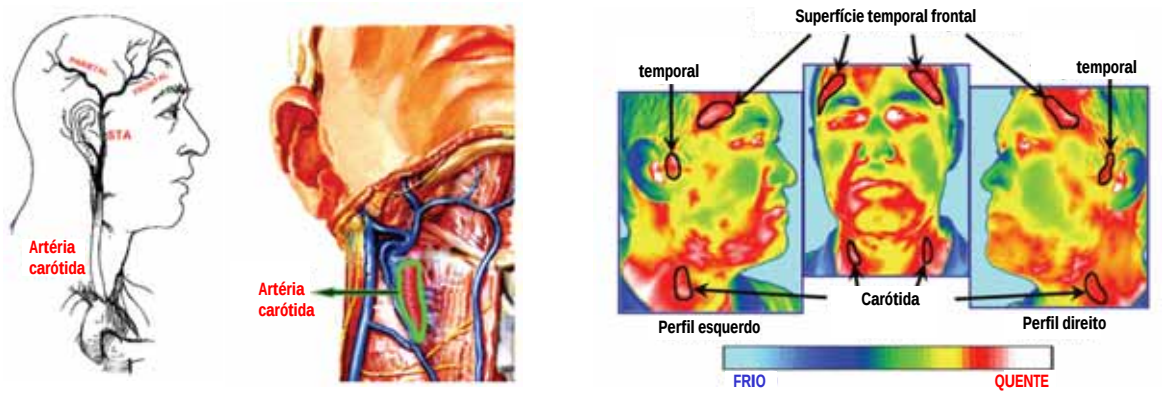
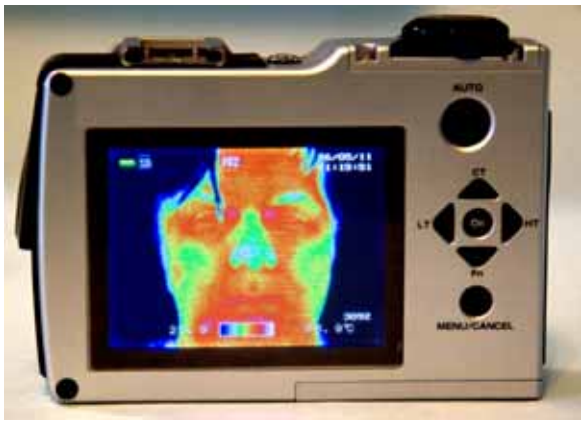


Figura 27: Termogramas, sistema vascular da cabeça. Nota-se como é possível localizar, através de termogramas, as principais artérias da cabeça (desenhos e termogramas: adpt. de [144, p.93]).

Este estudo concentra análise em LWIR. A figura 28 apresenta a câmera em uso:



Faixa de operação	-20ºC a 350ºC
Resolução	0,1ºC
Detetor infravermelho	Microbolômetro UFPA (Uncooled focal plane array)
Faixa espectral	8 a 13μm
Tempo de quadro	8,5 Quadros / segundo
Imagem Térmica	160 (H) x 120 (V) pixels
Campo de visão	28º (H) x 21º (V)
IFOV	3,1 mrad
Faixa de foco	10 cm a infinito (abaixo de 50 cm não está assegurada a precisão térmica)
Precisão	O maior entre ±2ºC ou ± 2%
Correção de não uniformidade	Automática ao ligar. Ajustável pelo usuário

Figura 28: Características da câmera térmica utilizada e respectivos dados técnicos.

3.3.3 Captura de Assimetrias da Voz via Sensores Acústicos

Durante a fala, ondas acústicas vocálicas de diversos tipos (longitudinais, transversais, Scholte-Stoneley, Rayleigh-Lamb) propagam, refletem, refratam internamente ao corpo humano por tecidos, sangue, músculos, ossos, etc.

Devido ao fenômeno modal das partes envolvidas, formas cimáticas aparecem na pele do corpo a cada fonema pronunciado. A maior intensidade é próxima à origem, i.e., as cordas vocais. Estas ondas internas decaem em freqüência mais do que se propagassem no ar. A figura 29 mostra o efeito visual destas vibrações na pele humana (foto à direita) e o compara a instrumentos musicais (restante das fotos).

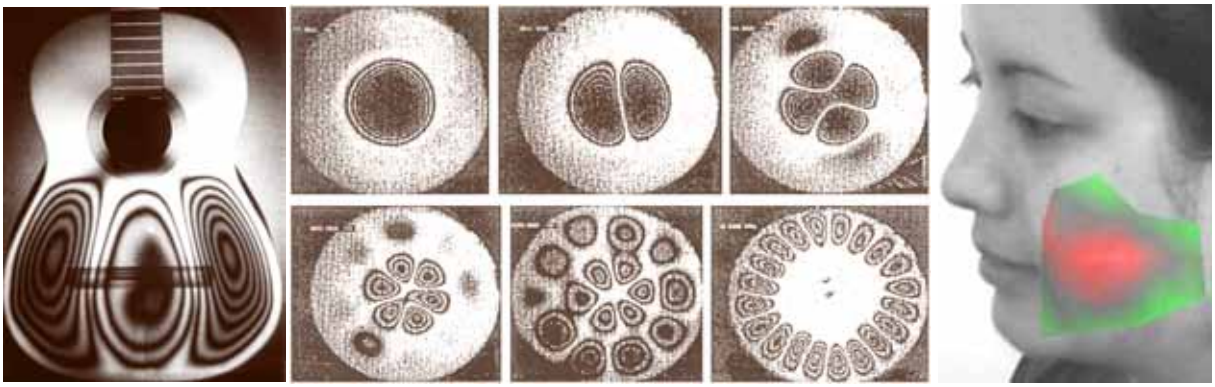


Figura 29: Vibrações acústicas. As figuras à esquerda e centro mostram modos vibracionais obtidos por interferogramas holográficos sobrepostos aos instrumentos musicais – violão [156, p.1107] *e gongo chinês (foto:* [156, p.1137]*). Em todas fotos observa-se moderado grau de assimetria. Similarmente durante a produção da fala, vibrações acústicas espalham-se pelo corpo - figura à direita mostra vibrações na bochecha obtida via sensor LDV (foto: Polytec).*

Os efeitos das vibrações na pele são assimétricos, devido a assimetrias corpóreas. A voz possui várias camadas biométricas (semântica, idioletal, fonotática, prosódica, etc.). Projetar os modos vibracionais sobre o vídeo da pessoa em fonação recrudesce ainda mais as informações biométricas.

As referências [145-155] exploram a área de imageamento acústico. Uma técnica para visualizar assimetrias na fonação é a acústica-holográfica. Outra técnica, superior aos planos acústico-holográficos, é usar fonte externa luminosa, e.g., Vibrômetro Doppler a Laser (LDV) [157-163]. LDV mede a velocidade de partículas das vibrações de 0,01μm/s a 10 m/s e freqüências de 0 a 80 kHz [160].

Apesar da excelente sensibilidade, acima da necessária para mensurar vibrações vocálicas, o estado da tecnologia atual do LDV ainda não é adequado à varredura 3D em tempo-real durante fonações com análise amplitude/freqüência dos modos vibracionais. As desvantagens do LDV são:

- alto custo;
- índice de reflexão da pele ao laser não ideal;
- Scanners 3D lentos (ver fig.7) em relação a fonação e movimentos;
- dano à saúde pelo laser.

Como alternativa ao laser, este estudo usa sensores de contato para medição da vibração. Há 4 desvantagens nesta escolha em relação ao laser:

- intrusividade à pessoa em teste;
- pressão do sensor na pele altera modo vibracional;
- área de contato do sensor não desprezível;
- nº reduzido de sensores incapaz de retratar todo o espaço 3D vibracional.

A opção por sensores de contato é uma solução de compromisso. As deficiências do contato impedem o uso prático desta solução. Não obstante, busca-se aqui mais a análise qualitativa da potencialidade da visualização da assimetria acústica do que discernimento real de locutores *per se*.

O presente estudo utiliza ao todo 3 pares de sensores: 2 microfones condensadores externos, 2 microfones de contato piezoelétricos e 2 microfones de contato capacitivos. As seções 4.4.1 e 4.4.2 detalham a comparação entre eles, e.g., a propagação no ar e reflexões sonoras do ambiente degradam a percepção da assimetria acústica, assim, microfones externos são mais insensíveis ao efeito do que os de contato.

Os microfones de contato piezoelétrico e capacitivo originam-se de duas tecnologias de captação distintas. Destes, o microfone de contato capacitivo é o adotado para análise de Processamento Bilateral, ao apresentar grande imunidade ao ruído e compatibilizar-se à faixa de freqüência da vibração vocálica.

Os sensores de contato são colocados em posições similares nos lados bilaterais (ver figura 30 abaixo ilustrando o microfone capacitivo). As vibrações acústicas bilaterais são confrontadas em amplitude, freqüência e fase.

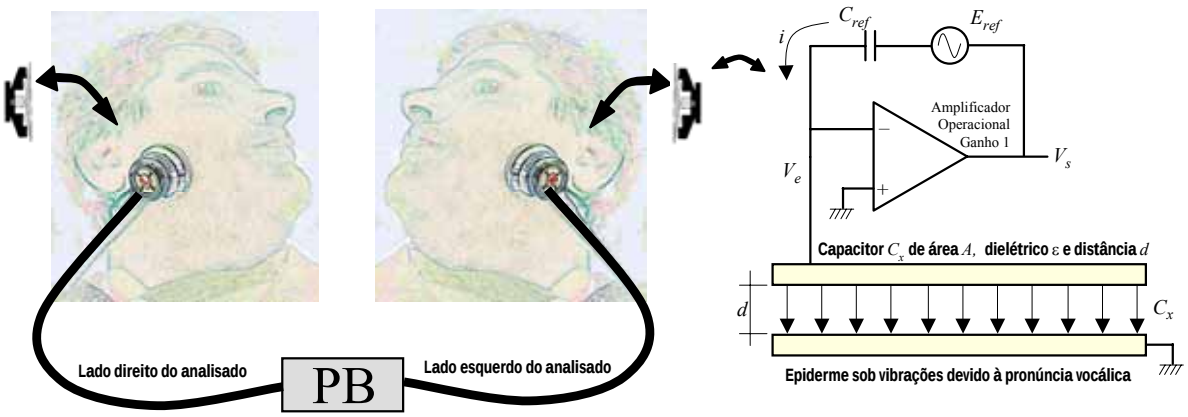


Figura 30: Microfone de contato capacitivo. O diafragma eletromagnético é coberto por material condutivo. Paralela ao diafragma, uma outra placa condutiva. As duas superfícies condutivas formam um capacitor. A capacitância deste é função da área, características dielétricas entre os dois materiais condutivos, e o espaço entre ambos. O espaço é modulado por ondas acústicas oriundas das cordas vocais e espalhadas pelo corpo, formando um transdutor acústico-elétrico.

Desenvolvendo o circuito elétrico da figura 30, observa-se que:

$$V_s = E_{ref} + \left(\frac{1}{j\omega C_{ref}} + \frac{1}{j\omega C_x}\right)i = -\left(\frac{C_{ref}}{C_x}\right)E_{ref} = \left(-\frac{\overset{\text{Constante}}{C_{ref}}}{\varepsilon A}\right)E_{ref}.d \qquad (15)$$

Com amplificador de ganho unitário, a tensão de saída (V_s) do microfone capacitivo é diretamente proporcional à distância (d), ou seja, a amplitude da vibração acústica.

Os sensores capacitivos são dois microfones de contato mostrados na figura 31.

Figura 31: Par de microfones de contato utilizados.

Assimetrias humanas fazem com que as ondas sonoras detetadas pelo microfone de contato do lado esquerdo sejam diferentes às do microfone de contato do lado direito. Amostrados a 48 kHz e 32 bits, a análise destas diferenças são vistas no sub-capítulo 4.4.3 adiante.

3.4 Processamento Bilateral Específico e Classificação

Dois PB para imagens e um PB acústico são desenvolvidos para testar a asserção. Ambos PB para imagens acessam imagens oriundas de espectros visível e infravermelho. As implementações são descritas abaixo por seus três subprocessos PB, i.e., alinhamento, segmentação e bilaterismo, além da classificação. Para avaliar cada PB, um algoritmo sem-PB (sem Processamento Bilateral) é também detalhado.

As rotinas PB e sem-PB estão implementadas em linguagem Matlab (versão 2007b). Quando alguma função ou sub-rotina for significativa, descreve-se-a aqui com comentários. Assim como as interfaces GUI, construídas para facilitar a interface homem-máquina.

A seção 3.4.1 apresenta o PB para imagens por Correlação Cruzada. A seção 3.4.2 mostra PB para imagens por Wavelet + NN. E finalizando, a seção 3.4.3 exibe o PB Acústico.

3.4.1 Processamento Bilateral para Imagens por Correlação Cruzada

A correlação cruzada tem extensa aplicação como classificador de padrões, como visto em [164], e possui vantagens intrínsecas: pico abrupto no casamento de imagens (em 3D ainda mais abrupto), invariante a deslocamentos, operação integrativa (não sofre tanto com oclusões parciais). Entretanto, correlação é sensível a ruído, e a mudança de escala, iluminação e rotação.

A classificação do presente método caracteriza-se pela comparação do teste com a base de dados inteira. Contrapõe-se ao método da seção 3.4.2, cuja classificação é realizada por curvas de decisão formadas durante treinamento.

A seguir, as quatro etapas do PB Correlação (alinhamento, segmentação, bilaterismo e classificação) e mais o método sem-PB Correlação.

3.4.1.a Alinhamento do PB Correlação: imagens são alinhadas por marcas pré-determinadas e específicas de cada traço (ver 3.2.1).

3.4.1.b Segmentação do PB Correlação: imagem é dividida em retângulos menores, principalmente nas áreas potencialmente biométricas.

3.4.1.c Bilaterismo do PB Correlação: Cada par (lado esquerdo "*e*" e direito "*d*") de segmentos passam pela correlação cruzada normalizada conforme abaixo:

$$\beta(u,v) = \frac{\sum_{x,y}\left[d(x,y)-\bar{d}\right]\left[e(x-u,y-v)-\bar{e}\right]}{\sqrt{\sum_{x,y}\left[d(x,y)-\bar{d}\right]^2\sum_{x,y}\left[e(x-u,y-v)-\bar{e}\right]^2}} \qquad (16)$$

Onde $\bar{d}$ e $\bar{e}$ são as médias dos segmentos "*d*" e "*e*". *x* e *y* são os índices bidimensionais dos segmentos. *u* e *v* são os índices bidimensionais da correlação. β_{PEAK} é o valor máximo de $\beta(u,v)$. As posições dos cinco mais assimétricos pares de segmentos (os cinco menores valores de β_{PEAK}) são registradas e salvas (ver cap. 4).

3.4.1.d Classificação do PB Correlação: A imagem em teste é alinhada como as imagens da base de dados. Segmentos em teste são extraídos pelas cinco posições obtidas em 3.4.1.c. Os segmentos em teste selecionados (*t*) e os segmentos da base de dados (*b*) são correlacionados:

$$\gamma(u,v) = \frac{\sum_{x,y}\left[t(x,y)-\bar{t}\right]\left[b(x-u,y-v)-\bar{b}\right]}{\sqrt{\sum_{x,y}\left[t(x,y)-\bar{t}\right]^2\sum_{x,y}\left[b(x-u,y-v)-\bar{b}\right]^2}} \qquad (17)$$

Onde $\bar{t}$ e $\bar{b}$ são as médias dos segmentos *t* e *b*. γ_{PEAK} é o valor máximo de $\gamma(u,v)$. A identificação é determinada pelo maior valor de γ_{PEAK}. Para avaliar a performance do reconhecedor compara-se γ_{PEAK} de genuínos e impostores, preocupando-se principalmente com a separabilidade entre as distribuições.

$\beta(u,v)$ e $\gamma(u,v)$ são implementados em Matlab pela função normxcorr2. A figura 32 (*ver página seguinte*) mostra segmentos da íris e gráficos da correlação cruzada correspondentes.

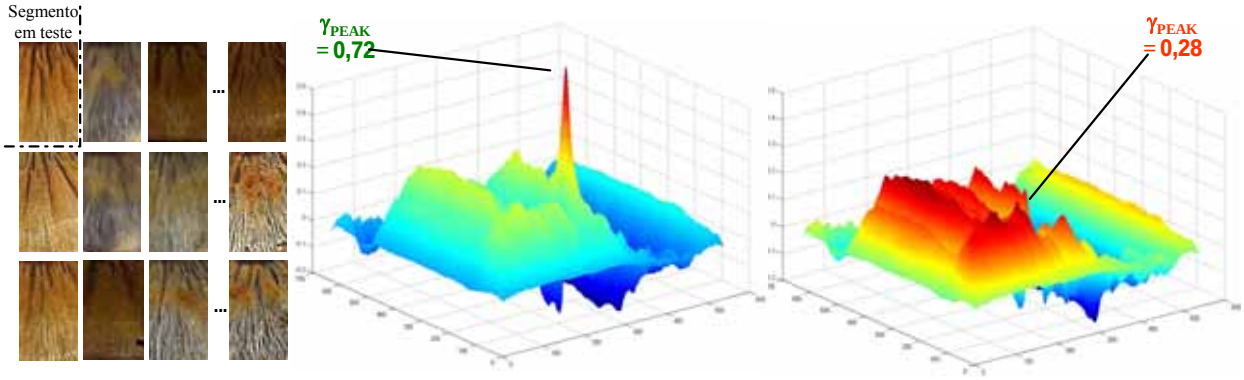


Figura 32: Segmentos da íris e gráficos de correlação cruzada para íris genuína (à esquerda) e para íris impostora , i.e., de outra pessoa ou do lado bilateral oposto (à direita).

A figura 33 mostra o método de avaliação em dois casos de separabilidade de distribuições: *A* e *B*. A forma das distribuições genuína e impostora são irrelevantes.

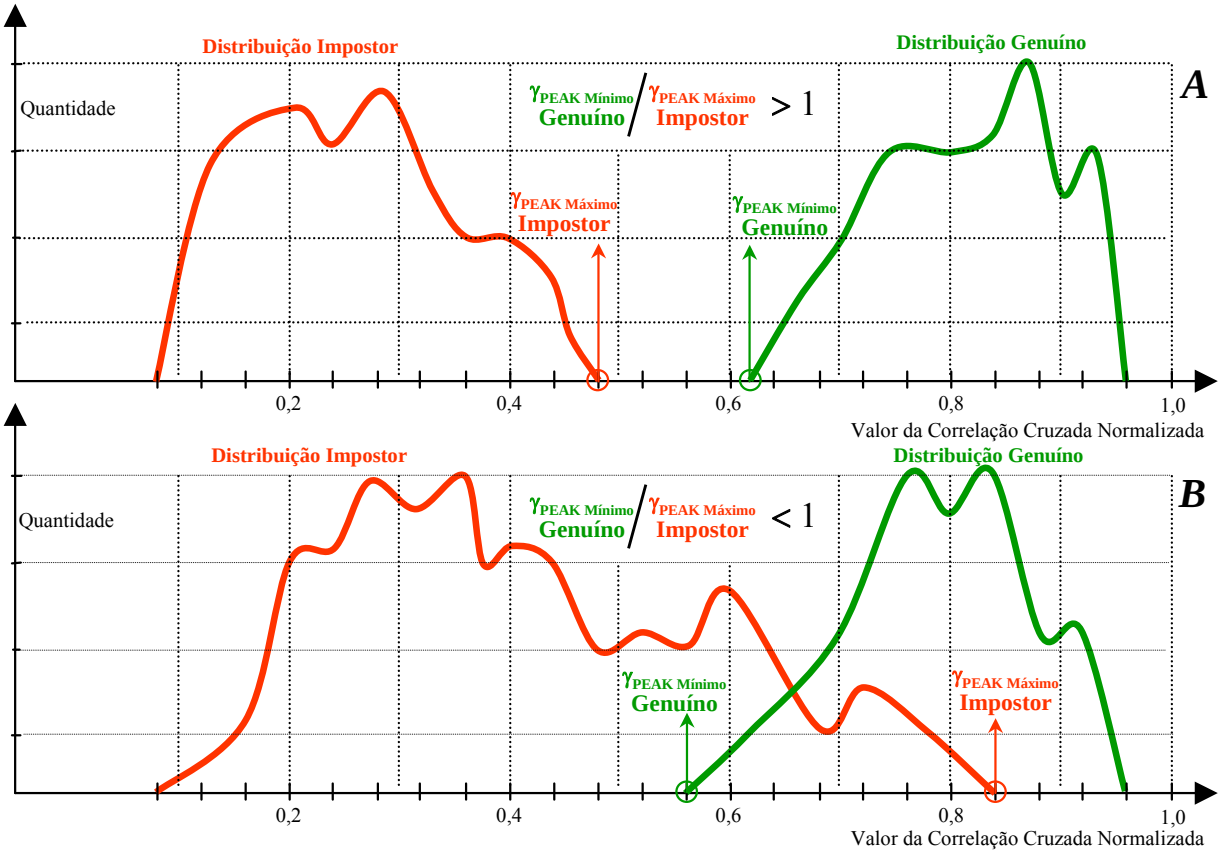


Figura 33: Dois casos de curvas de histogramas genuíno e impostores em função da correlação cruzada normalizada dos segmentos: quando há (A) e não há espaço (B) entre distribuições.

3.4.1.e <u>Correlação sem-PB</u>: Mesmo alinhamento de 3.4.1.a, mas a segmentação e o bilaterismo não são aplicáveis aqui, já que sem-PB ignora particularidades bilaterais das biometrias. Imagens teste e da base de dados do traço biométrico inteiro são correlacionadas, i.e., mesma rotina do PB, só que ao invés de segmentos, usa-se o traço completo. Identificação é determinada por mais alta correlação cruzada. Vide outras semelhanças e diferenças entre PB e sem-PB na seção 4.2.3.

3.4.2 Processamento Bilateral para Imagens por Wavelet + NN

A separação espaço-freqüência torna wavelet apropriado a localizar transições de assimetria. Vastas aplicações de wavelet em reconhecimento de padrões encontram-se em [165]. A implementação aqui baseia-se na diferença de imagens esquerda-direita, e com a parametrização wavelet, pondera-se esta diferença em freqüência. Como [166] deduziu, freqüências medianas são ideais para reconhecimento humano. Contornos de decisão não-lineares providos por Redes Neurais Artificiais (NN) tornam o classificador consentâneo para o espaço multidimensional de parâmetros wavelet.

A seguir, as três etapas de manipulação com parâmetros wavelet (alinhamento, segmentação, bilaterismo) e classificação (NN), além do método sem-PB.

3.4.2.a <u>Alinhamento do PB Wavelet + NN</u>: Idêntico a 3.4.1.a.

3.4.2.b <u>Segmentação do PB Wavelet + NN</u>: Idêntico a 3.4.1.b.

3.4.2.c <u>Bilaterismo do PB Wavelet + NN</u>: Wavelets bidimensionais (imagens) obtêm-se do produto tensorial das funções unidimensionais escala (ϕ) e wavelet (ψ):

$$\begin{cases} \phi(x,y) = \phi(x)\phi(y) & (18) \\ \psi^H(x,y) = \phi(x)\psi(y) & (19) \\ \psi^V(x,y) = \psi(x)\phi(y) & (20) \\ \psi^D(x,y) = \psi(x)\psi(y) & (21) \end{cases}$$

onde $\psi^H(x,y)$, $\psi^V(x,y)$ e $\psi^D(x,y)$ são respectivamente as funções wavelets 2D horizontal, vertical e diagonal. As funções dilatadas e transladadas $\{\psi^{\lambda}_{j,k}(x,y): j \in \mathbf{Z}; k \in \mathbf{Z}^2; \lambda = H, V, D\}$ e $\{\phi_{j,k}(x,y): j \in \mathbf{Z}; k \in \mathbf{Z}^2\}$ formam uma base ortonormal em $\mathbf{L^2(R^2)}$. O módulo da subtração wavelet dos lados bilaterais direito e esquerdo, "*d*" e "*e*" $\in \mathbf{L^2(R^2)}$, é usado para localizar assimetrias:

$$|d-e| = \left| \sum_{k\in\mathbf{Z}^2} a_{j_0,k}\phi_{j_0,k} + \sum_{j^3 j_0;\, k\in\mathbf{Z}^2;\lambda=H,V,D} b^{\lambda}_{j,k}\psi^{\lambda}_{j,k} - \sum_{k\in\mathbf{Z}^2} f_{j_0,k}\phi_{j_0,k} - \sum_{j^3 j_0;\, k\in\mathbf{Z}^2;\lambda=H,V,D} g^{\lambda}_{j,k}\psi^{\lambda}_{j,k} \right| \quad (22)$$

onde $a_{j_0,k} = \langle d, \phi_{j_0,k}\rangle$, $b^{\lambda}_{j,k} = \langle d, \psi^{\lambda}_{j,k}\rangle$, $f_{j_0,k} = \langle e, \phi_{j_0,k}\rangle$, $g^{\lambda}_{j,k} = \langle e, \psi^{\lambda}_{j,k}\rangle$

A seguir, as figuras 34, 35 e 36 ilustram, respectivamente, o método de decomposição, o tamanho e amplitude dos coeficientes, e a visualização em imagem.

Figura 34 exemplifica o uso do banco de filtros para o segmento direito "*d*". No diagrama à esquerda, o segmento "*d*" decompõe-se em coeficientes de aproximação a_1 e em três coeficientes de detalhe: b^H_1, b^D_1 e b^V_1. E a_1 decompõe-se em a_2, b^H_2, b^D_2 e b^V_2. Idem, a_2 em a_3, b^H_3, b^D_3 e b^V_3. E assim por diante, até o último estágio. No diagrama à direita da fig.34, a decomposição genérica: a_j em a_{j+1}, b^H_{j+1}, b^D_{j+1} e b^V_{j+1}. No 1º estágio, somente as linhas são filtradas. No 2º estágio, só as colunas. As linhas da imagem a_j passam por filtros passa-baixa (P.Baixa) ou passa-alta (P.Alta), para então se dizimar metade das colunas (ímpares fora). No 2º estágio, as restantes colunas convolui com os filtros P.Baixa ou P.Alta e elimina-se as linhas ímpares. Os coeficientes a_{j+1} saem da filtragem de a_j por P.Baixa (linha) e P.Baixa (coluna). Similarmente obtém-se $b^H_{j+1\ (Baixa\text{-}Alta)}$, $b^D_{j+1\ (Alta\text{-}Alta)}$ e $b^V_{j+1\ (Alta\text{-}Baixa)}$.

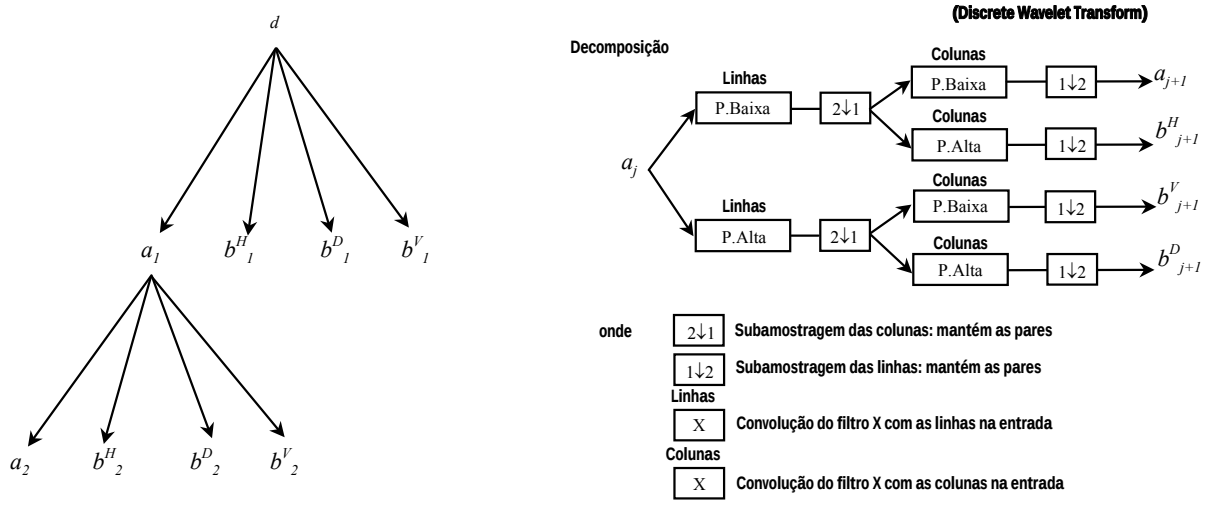


Figura 34: Decomposição dos coeficientes wavelets. <u>À esquerda</u>: Segmento d decompõe-se em coeficientes de aproximação a_1 e em três coeficientes de detalhe: b^H_1, b^D_1 e b^V_1. E a_1 decompõe-se em a_2, b^H_2, b^D_2 e b^V_2. <u>À direita</u>: decomposição genérica: a_j em a_{j+1}, b^H_{j+1}, b^D_{j+1} e b^V_{j+1}.

A rotina Matlab usada para decomposição em coeficientes wavelet é *wavedec2* via wavelet-mãe Haar. A fig. 35 ilustra a dimensão dos coeficientes wavelets para uma imagem X de 244 por 324 pixels, obtidas por *wavedec2*. Não é o mesmo tamanho do arquivo de entrada, pois filtros FIR geram amostras residuais após o fim do sinal. O trecho mais energético é a_4, resultado da convolução com 8 filtros passa-baixa.

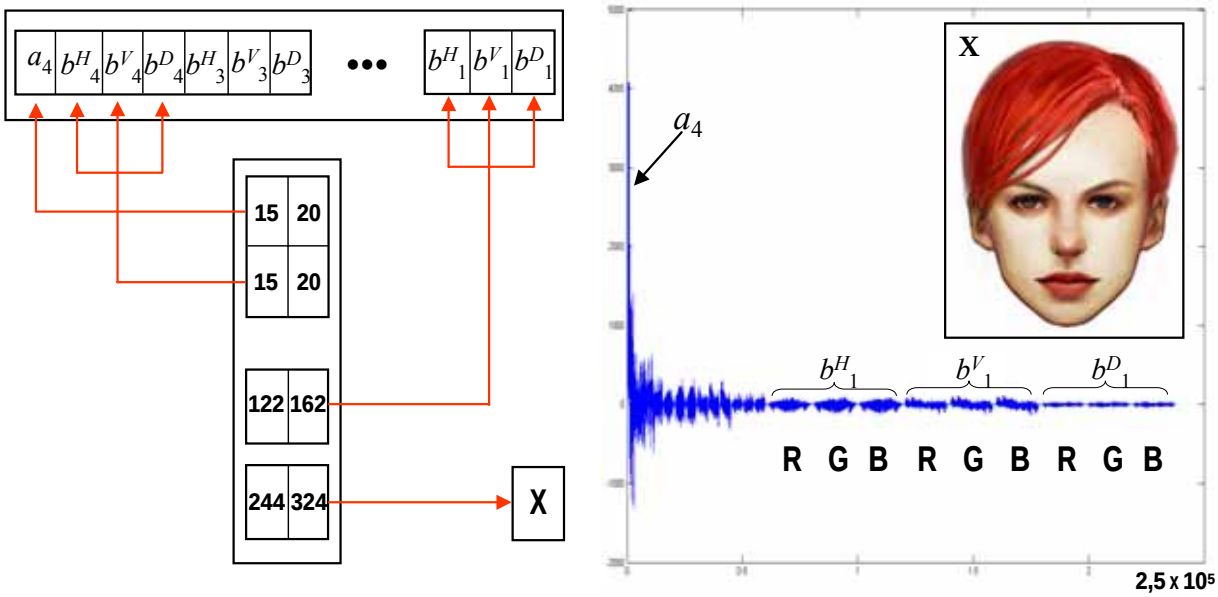


Figura 35: Dimensão e amplitude dos coeficientes da imagem X. À esquerda: exemplifica a dimensão dos coeficientes de uma imagem X de 244 x 324 pixels. Após N = 4 estágios de dizimação, reduz-se a 15 x 20, i.e., os coeficientes a_4, b^H_4, b^D_4 e b^V_4 possuem tamanho 15 x 20 pixels. No extremo oposto, b^H_1, b^D_1 e b^V_1 possuem 122 x 162. À direita: destaca a mesma imagem X de 244 colunas e 324 linhas por 3 bytes de cor decomposta em coeficientes Haar ⇒ 244 x 324 x 3 = 2,4.10^5 coeficientes wavelets.

Assimetrias obtêm-se da diferença dos coeficientes wavelet. A figura 36 mostra o Processamento Bilateral em Wavelet para a mesma face X anterior subtraída da face X refletida horizontalmente (via W*avelet toolbox* do Matlab).

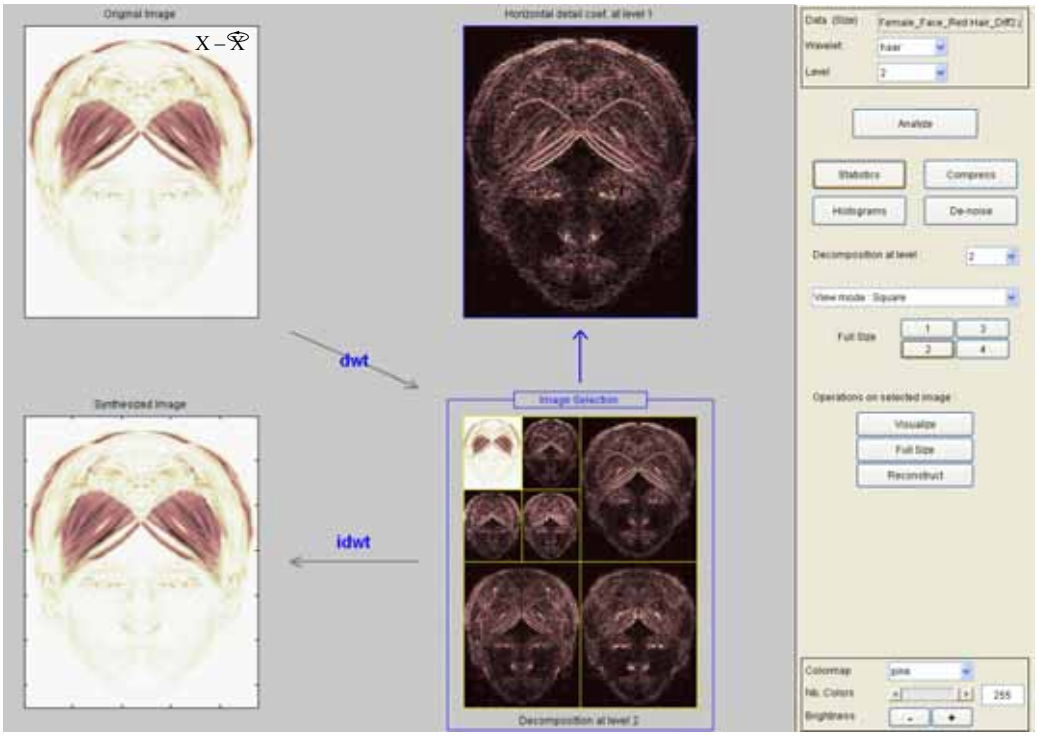


Figura 36: DWT e IDWT da face X menos face X refletida horizontalmente em 2 níveis via função Haar. Assimetrias concentram-se nos olhos, nariz e boca (idem para cabelo, porém sua disposição não é biometricamente considerada).

3.4.2.d Classificação do PB Wavelet + NN [167-172]: Como salientado em 2.2.7, classificadores sofisticados melhoram a performance, mesmo assim, são incapazes de acompanhar variações biométricas bruscas ou acentuadas das pessoas. A eficiência de classificadores em dados não-estacionários depende da margem entre distribuições interclasses. Na ausência de análise biognótisca, classificadores que resolvam dependências não-lineares, e.g., redes neurais, são mais robustos e melhor adequam-se a ambientes biométricos do que lineares. Por isso, optou-se pela classificação NN em espaço multidimensional wavelet.

Os coeficientes wavelets são treinados e classificados por perceptrons multicamadas pró-alimentados através do algoritmo de aprendizagem supervisionada de descida do gradiente por retropropagação de erros, conforme equação:

$$y_k(\mathbf{x},\mathbf{p}) = \sigma\left(\sum_{j=1}^{M} p_{kj}^{(2)} h\left(\sum_{i=1}^{N} p_{ji}^{(1)} x_i + p_{j0}^{(1)}\right) + p_{k0}^{(2)}\right) \tag{23}$$

onde x são os coeficientes Wavelet de tamanho N, M é o tamanho da camada oculta, $\sigma(.)$ é a função logística e $h(.)$ é a função de ativação, sendo ambas funções de transferência sigmoidais por tangente hiperbólica, p são os pesos cujo o número da camada está sobrescrito em parêntesis. Figura 37 exibe o diagrama e a função erro.

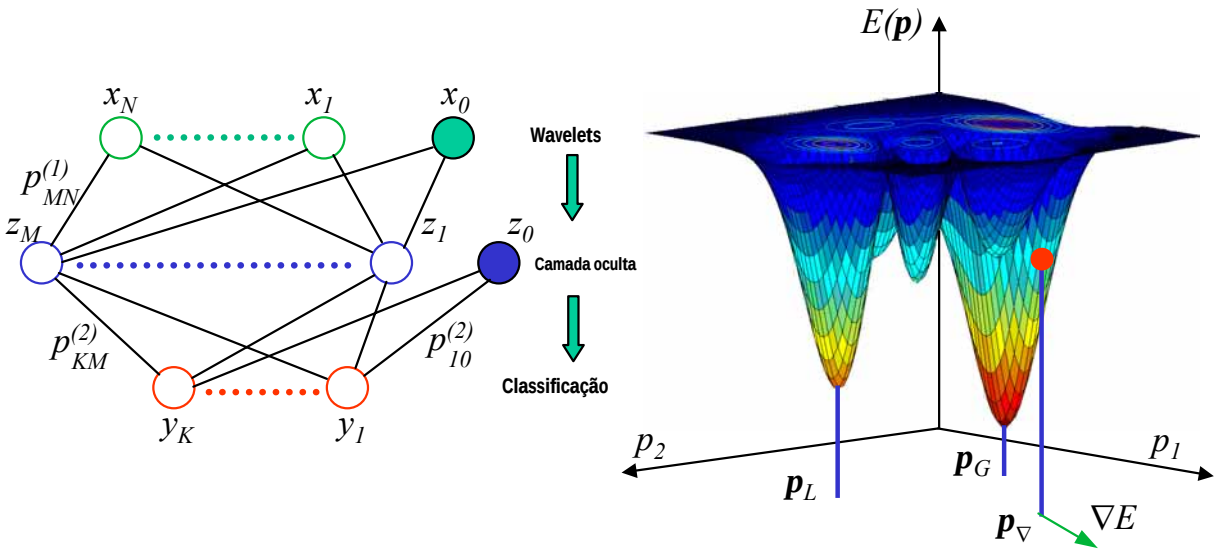


Figura 37: Diagrama da rede neural e gráfico do gradiente do erro E(p). O diagrama da rede neural à esquerda representa a equação desta página. As funções σ e h são diferenciáveis e não-lineares (sigmoidais). No gráfico à direita a descida do gradiente ∇E leva à encontrar as ponderações **p** *que minimizam a função erro E(***p***).* $\mathbf{p}_L$ *é mínimo local e* $\mathbf{p}_G$ *é mínimo global absoluto.*

A implementação utiliza duas camadas, sendo uma oculta cujo tamanho é M = 100. Este valor de M justifica-se nas dimensões das N entradas e K classes [167, p.16] envolvidas. Como visto na fig.37, na descida do gradiente a obtenção do mínimo depende do valor inicial e este é aleatório. Nunca há certeza do mínimo absoluto, portanto interno ao algoritmo, o processo de busca do mínimo é realizado 10 vezes. Sendo assim, a pessoa classificada é a que obteve a identificação o maior número de vezes dentro das 10 vezes. Se há empate, a decisão é aleatória entre os postulantes.

A figura 38 mostra a GUI para ilustrar o processo de formação da base de dados e o teste de identificação e também mostrar as principais funções Matlab em uso. No treinamento, entra-se o segmento (ou o traço completo para o caso de 3.4.2.e) com o número de identificação da pessoa. E em teste, apenas o segmento, e o software fornece o número de identificação da pessoa.

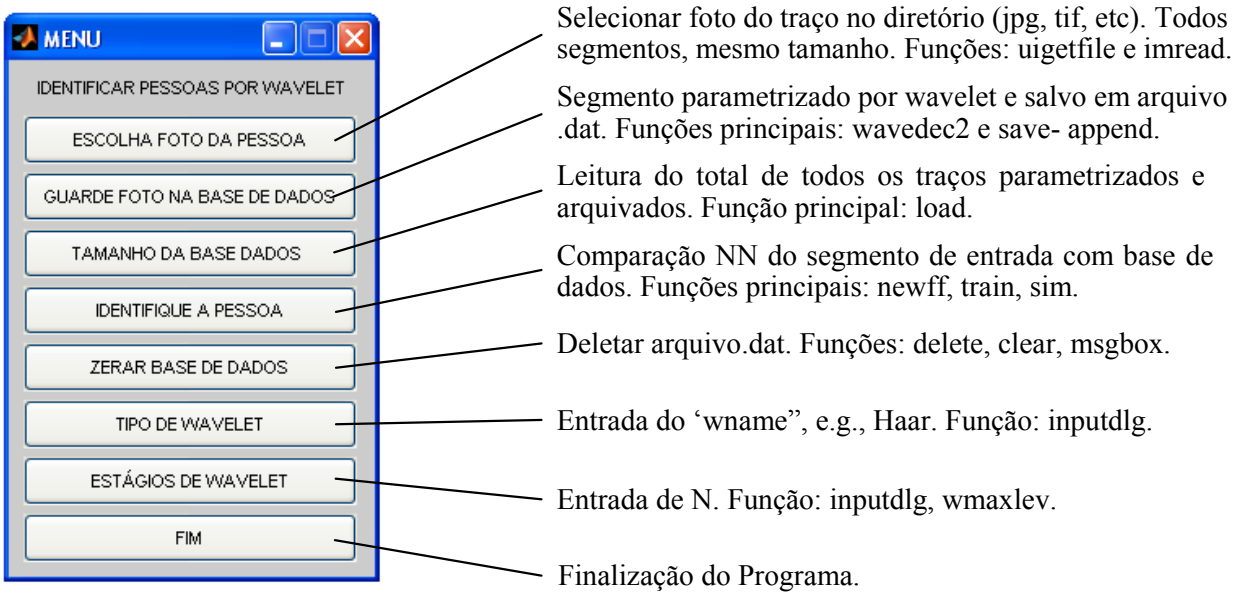


Figura 38: Interface Gráfica de Usuário (GUI) do Wavelet + NN em Matlab e as principais funções de cada botão.

3.4.2.e <u>Wavelet + NN sem-PB</u>: Mesmo alinhamento de 3.4.1.a, mas segmentação e bilaterismo não são aplicáveis aqui. O imagem em teste do traço inteiro é parametrizada em Wavelet e classificada por Redes Neurais. A Rede Neural é treinada pela base de dados de imagens completas do traço, i.e., rotinas Wavelet e Redes Neurais são as mesmas do PB, só que ao invés de segmentos, usam-se traços biométricos completos. Ver outras considerações sobre PB e sem-PB na seção 4.2.3.

3.4.3 Processamento Bilateral Acústico

O algoritmo acústico implementado possui simplificações importantes quando comparado ao de imagens: processamento unidimensional em vez de bidimensional; e dispensabilidade de alinhamento, já que as amostras esquerda e direita são adquiridas simultaneamente na gravação da voz. Os sensores são ajustados para que os canais tenham exatamente o mesmo ganho de amplitude. Assimetrias são mensuráveis pela normalização da diferença do canal esquerdo "*e*" menos o direito "*d*", em amplitude e em fase. Obs: Canais esquerdo e direito são indistinguíveis ao ouvido humano, pois reverberações acústicas na pele da face são subsônicas.

A seguir, as quatro etapas do PB acústico: alinhamento (*pro forma*), segmentação, bilaterismo e classificação. O método sem-PB (3.4.3.e), diferentemente aos métodos por imagem, não advém do método PB sem segmentação e bilaterismo. A diferença (*e – d)* em PB é intrínseca, o que impede a adaptação e exige implementação extra.

3.4.3.a <u>Alinhamento do PB Acústico</u>: Não é necessário alinhamento.

3.4.3.b <u>Segmentação do PB Acústico</u>: Os sinais de voz considerados são puramente vocálicos e de entoação constante. Os canais "*e*" e "*d*" são assim descritos:

$$\begin{cases} e[m] = \sum_{H=1}^{\infty} e_H[m] & (24) \\ d[m] = \sum_{H=1}^{\infty} d_H[m] & (25) \end{cases}$$

i.e., a soma da freqüência fundamental (*pitch*) e suas *H* harmônicas. A extração das harmônicas (segmentação) é feita por filtros passa-faixa F_H para cada harmônica *H*:

$$\begin{cases} \Im(e_H) = E_H(n,\omega) = F_H(\omega).E(n,\omega) = F_H(\omega).\left(\sum_{m=-\infty}^{\infty} e[m]\Lambda[n-m](\cos\omega m - j\,sen\,\omega m)\right) & (26) \\ \Im(d_H) = D_H(n,\omega) = F_H(\omega).D(n,\omega) = F_H(\omega).\left(\sum_{m=-\infty}^{\infty} d[m]\Lambda[n-m](\cos\omega m - j\,sen\,\omega m)\right) & (27) \end{cases}$$

onde *E* e *D* são as DT-STFT ($\Im(.\ )$) dos canais *e* e *d* respectivamente. Λ é a função janela e *n* é o seu deslocamento no tempo. Os sinais E_H e D_H, obtidos após filtro passa-faixa F_H, são as DT-STFT de e_H e d_H.

A figura 39 divide-se em dois gráficos: espectrograma e pan A_4. O gráfico pan A_4 é explicado em 3.4.3.c. O espectrograma da fig.39 exemplifica a segmentação da pronúncia do ditongo [ai]* de 3s para a 4ª harmônica. Formantes de [a] e [i] diferem devido ao posicionamento da língua. A janela Λ usada é a de Kaiser e compreende 16.384 amostras. O *pitch* é 120 Hz e as harmônicas vocálicas exibidas vão de 240 Hz a 720 Hz. Ao filtrar ambos canais ao redor de 480 Hz com F_4, i.e., equações (26) e (27) adaptadas à 4ª harmônica, obtém-se os sinais em freqüência esquerdo e direito, E_4 e D_4. E respectivamente, no domínio do tempo, e_4 e d_4, conforme as equações:

$$\begin{cases} \Im(e_4) = E_4(n,\omega) = F_4(\omega).\left(\sum_{m=-\infty}^{\infty} e[m]\Lambda[n-m](\cos\omega m - j\,sen\,\omega m)\right) & (28) \\ \Im(d_4) = D_4(n,\omega) = F_4(\omega).\left(\sum_{m=-\infty}^{\infty} d[m]\Lambda[n-m](\cos\omega m - j\,sen\,\omega m)\right) & (29) \end{cases}$$

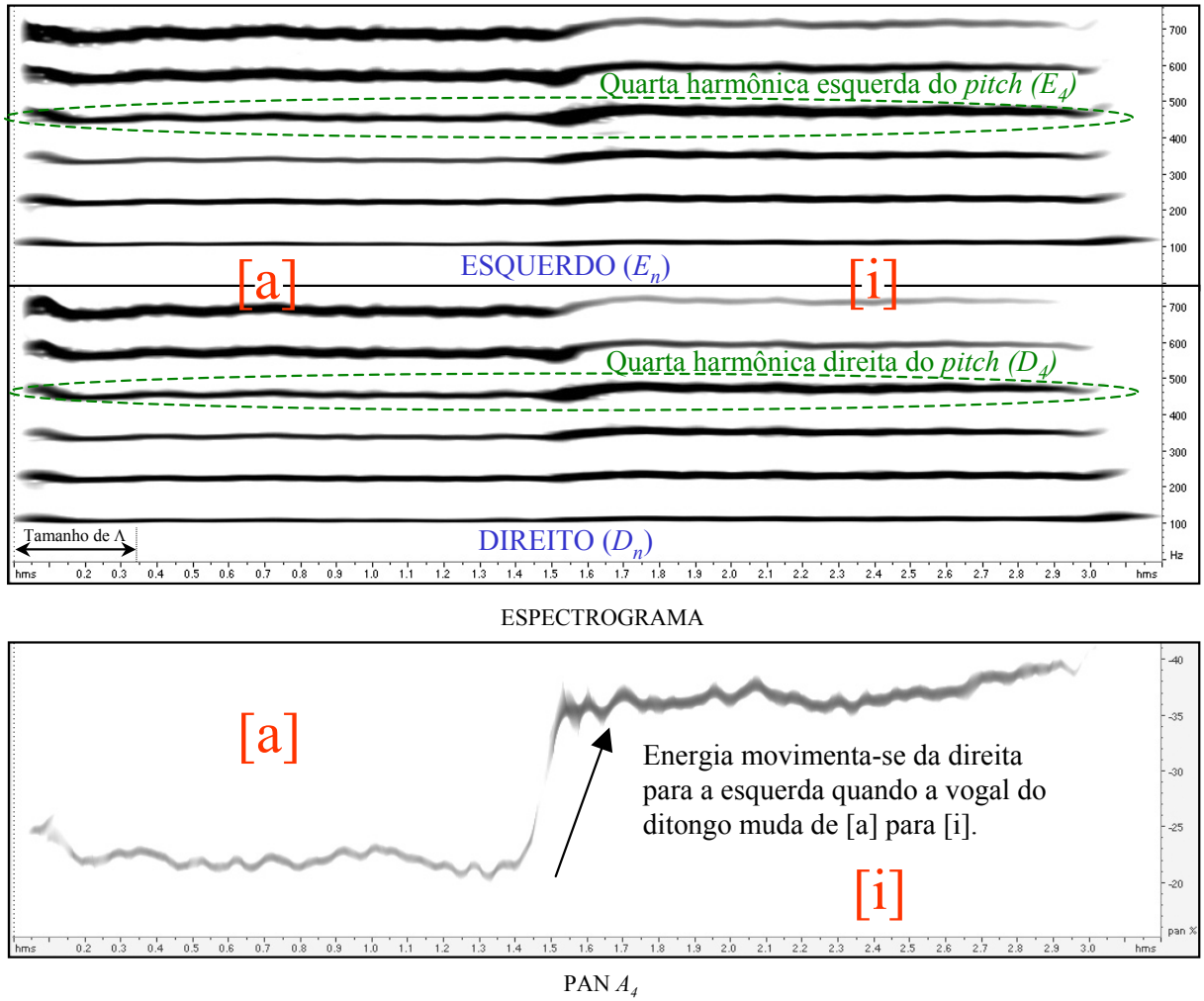


Figura 39: Segmentação e bilaterismo da pronúncia do ditongo [ai].

* - pronúncia do ditongo [ai] de acordo com IPA.

3.4.3.c <u>Bilaterismo do PB Acústico</u>: As equações (24) e (25) podem ser assim desenvolvidas para sinais vocálicos de entoação constante ω_0:

$$\begin{cases} e[m] = \sum_{H=1}^{\infty} e_H[m] = \sum_{H=1}^{\infty} e_H^A \cos(H\omega_0 m + e_H^\phi) & (30) \\ d[m] = \sum_{H=1}^{\infty} d_H[m] = \sum_{H=1}^{\infty} d_H^A \cos(H\omega_0 m + d_H^\phi) & (31) \end{cases}$$

onde os sobrescritos A e ϕ em e_H e d_H são as respectivas amplitude e fase dos canais esquerdo e direito da harmônica H. O bilaterismo obtém-se da diferença normalizada da amplitude e fase dos canais esquerdo (e_H) e direito (d_H) da harmônica H via estas funções, chamadas pan:

$$\begin{cases} A_H = \dfrac{e_H^A - d_H^A}{e_H^A + d_H^A} & (32) \\ \phi_H = e_H^\phi - d_H^\phi & (33) \end{cases}$$

onde as funções normalizadas A_H e ϕ_H são as relativas amplitude e fase entre ambos canais para a harmônica H, sendo $A_H \in [-1, +1]$ e $\phi_H \in [-\pi, +\pi]$. Funções A_H e ϕ_H variam em tempo e elas representam os modos vibracionais assimétricos na área de contato dos microfones.

No exemplo em 3.4.3.b, segmenta-se e_4 e d_4. Retornando à figura 39 da página anterior, observa-se o efeito do bilaterismo no gráfico inferior denominado "pan A_4", i.e., o gráfico exemplifica o pan-amplitude $H = 4$. Os canais e_4^A e d_4^A passam pela diferença normalizada da equação (32) para se obter A_4 via a subtração de ambos canais ($e_4^A - d_4^A$) dividida por sua soma ($e_4^A + d_4^A$):

$$A_4 = \frac{e_4^A - d_4^A}{e_4^A + d_4^A} \qquad (34)$$

A_4 apresenta microtremores e microflutuações durante toda pronúncia e acentuada transição na mudança de vogais do ditongo. São estes aspectos que são explorados na identificação de locutores.

As características de digitalização da voz do exemplo da figura 39, são também usadas em todo PB de identificação acústica, isto é:

- freqüência de amostragem da voz de 48 kHz;
- 32 bits por amostra;
- ditongo [ai]*;
- pronúncias da ordem de segundos e de entoação constante;
- janela de Kaiser;
- tamanho da janela de 16.384 amostras.

3.4.3.d Classificação do PB Acústico: O conjunto de funções A_H e ϕ_H comportam-se especificamente para cada locutor. Como este conjunto depende da diferenças de canais, uma matriz de identificação com 9 conjuntos de funções (um por pessoa). Durante a fase de formação da base de dados, o reconhecedor sabe qual é o canal esquerdo e direito para a realização da diferença. Durante a fase de testes, o reconhecedor desconhece qual é o lado bilateral que origina o canal e aleatoriamente realiza a diferença, isto é, pode ser ($e - d$) ou ($d - e$).

O ditongo é avaliado a longo-prazo e a curto-prazo. Longo-prazo refere-se aos efeitos da transição das vogais [a]* a [i]* nos modos vibracionais. Enquanto que curto-prazo representa os efeitos das variações dos impulsos glotais nos modos vibracionais (microflutuações e microtremores são involuntários ao locutor [173], mesmo em pronúncia cuja intenção é *pitch* constante).

Cinco características a longo e curto-prazo são consideradas por pessoa. Três características a longo-prazo são os níveis da função A_H ou ϕ_H antes e depois da transição do ditongo. E dois de curto-prazo referem-se ao espectro de baixa freqüência a partir de 5 Hz. Estas cinco características extraídas da base de dados e em teste são comparadas entre os locutores para identificação.

* - IPA

3.4.3.e Acústico sem-PB: O PB acústico descrito de 3.4.3.a, b, c e d não pode ser adaptado como sem-PB. Um reconhecedor de locutores extra, MFCC mais VQ, foi desenvolvido exclusivamente como sem-PB, descrito a seguir.

Não há como descrever um sentido humano independentemente. Todos sentidos estão interligados, e.g., o efeito McGurk comprova a relação mútua da visão com a fala e audição. Fala e audição, *per se,* estão interassociadas. Isto é, o processo de fala adapta-se à audição por melhor inteligibilidade e compreensão, e vice-versa.

Características do ouvido humano indicam a presença de escala logarítmica:

1) O conjunto aferente e eferente das células ciliares externas funcionam como um compressor logarítmico*.
2) Células ciliares internas (ver figura 40) detetam a freqüência das ondas formadas no fluído do órgão de Corti, sendo a tonotopia disposta em escala logarítmica dentro da cóclea.

Além da fisiologia, medidas psicoacústicas comprovam a escala logarítmica da audição humana. Uma das escalas derivadas diretamente da percepção da audição humana é a escala Mel. Esta escala baseia-se na percepção auditiva de ouvintes sobre o relativismo entre tons. A figura 41 abaixo relaciona Mel com Hertz. Na página seguinte é mostrada a relação recíproca da escala log com a fala.

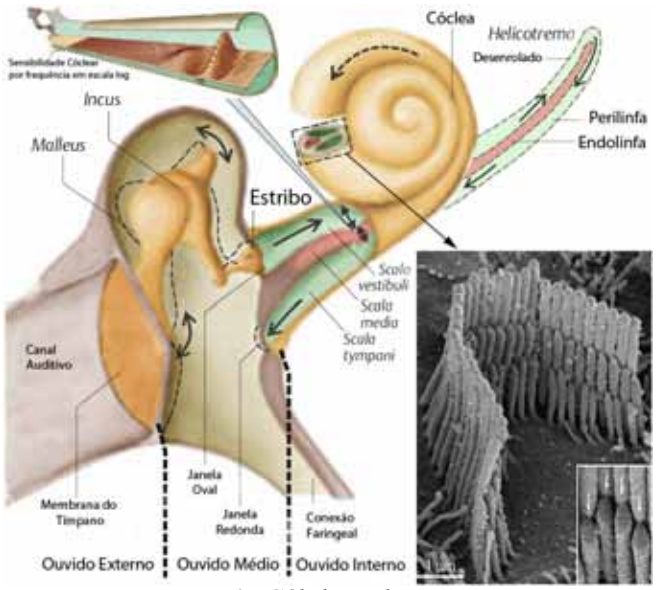
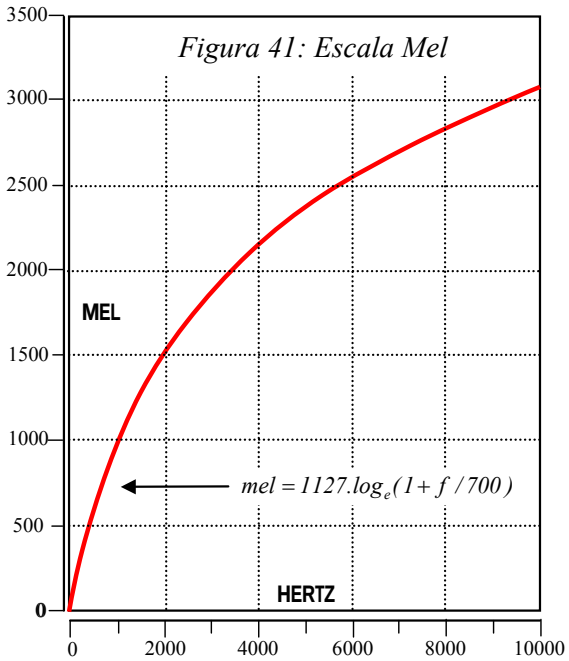


Figura 40: Células ciliares internas.
adpt. de [174, p.371-373]



* *Segundo estudos* [175], *ondas retroespelhadas originam-se de irregularidades nas células ciliares exteriores. A interferência dos tons de estímulo com ondas retroespalhadas por emissões otoacústicas evocadas são similares à transformada wavelet contínua, cuja função parente é solução da equação de propagação de ondas. Emissões subsônicas otoacústicas têm sido testadas como biometria* [176], *contudo os resultados ainda são incipientes.*

A log-parametrização da voz produz positivos resultados em reconhecimento de fala e locutores. Assim, o cepstro da partição da escala Mel, i.e., a transformada de Fourier do log-espectro Mel, mostra-se uma efetiva representação. A parametrização baseada na escala Mel MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) supera outros métodos para discernir locutores [177-178]. Alguns motivos são:

1) MFCC melhor pondera informação acústica crucial ao identificador do que o LPC. O espectro MFCC é mais suave e estável do que o espectro LPC. MFCC é mais compacto – menor quantidade de parâmetros MFCC do que o LPC se equivalem em performance. Não obstante, o estudo [194] salienta que obter MFCC via LPC aumenta a imunidade a ruídos do reconhecedor de locutores.

2) MFCC possui significativa vantagem sobre cepstrais lineares em freqüência, por suprimir variação espectral insignificante em bandas de alta freqüência.

3) Fala e audição interassociadas. Sendo a audição em escala logarítmica, espera-se melhor discernibilidade de locutores se aplicada tal escala.

O espectro à esquerda (adpt. de [179, p.72]) da figura 42 exibe o espectro MFCC comparado a LPC e cepstro linear. Observe como a envoltória MFCC acompanha melhor as baixas freqüências do que as altas freqüências devido ao efeito dos filtros triangulares (gráfico à direita da fig.42). Entretanto, MFCC e outras parametrizações não acompanham bem os vales espectrais, característicos de sons nasais [180]. Página seguinte mostra como o MFCC é implementado para o método sem-PB.

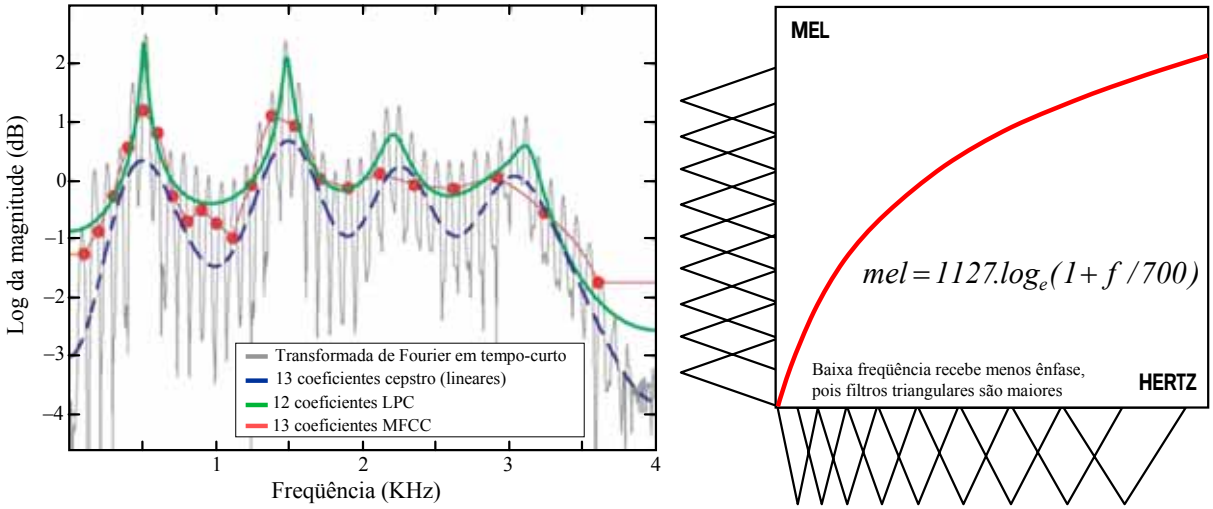


Figura 42: À esquerda: Cepstro vs. LPC vs. MFCC. À direita: banco de filtros MFCC.

A seqüência para se obter os parâmetros MFCC é a seguinte. Inicialmente transforma-se o sinal no tempo *x(n)* em freqüência *X(k):*

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)exp(-j2k\pi n/N) \tag{35}$$

Onde *w(n)* é a janela de Hamming de 256 amostras, para *n = 0, 1, ..., N-1*:

$$w(n) = 0{,}54 - 0{,}46\cos(\pi n/N) \tag{36}$$

Obtém-se o banco *H(k,m),* 20 de filtros na escala Mel, com f_c na freqüência central:

$$H(k,m) = \begin{cases} 0 & \text{para} \quad f(k) < f_c(m-1); & (37) \\ \dfrac{f(k) - f_c(m-1)}{f_c(m) - f_c(m-1)} & \text{para} \quad f_c(m-1) \le f(k) < f_c(m); & (38) \\ \dfrac{f(k) - f_c(m+1)}{f_c(m) - f_c(m+1)} & \text{para} \quad f_c(m) \le f(k) < f_c(m+1); & (39) \\ 0 & \text{para} \quad f(k) \ge f_c(m+1). & (40) \end{cases}$$

E a log-magnitude de *X(k)* sob a influência do banco de filtros triangulares:

$$X'(m) = ln\left(\sum_{k=0}^{N-1} |X(k)|.H(k,m)\right) \tag{41}$$

Para então se obter os parâmetros MFCC *c(l)* via DCT:

$$c(l) = \sum_{m=1}^{M} X'(m)cos(l\pi/M(m-1/2)) \tag{42}$$

A figura 43 apresenta o pseudo-código correspondente das operações acima:

```
function r = mfcc(s, fa)        % MFCC do sinal "s"
m = 100;                        % overlapping
n = 256;                        % tamanho da janela
l = length(s);                  % tamanho do sinal "s"
nbQuadro = floor((l - n) / m) + 1;
for i = 1:n
        for j = 1:nbQuadro
                M(i, j) = s(((j - 1) * m) + i);
        end
end
h = hamming(n);                                   Equação (36)
M2 = diag(h) * M;               % diag=matriz diagonal
for i = 1:nbQuadro
        quadro(:,i) = fft(M2(:, i));              Equação (35)
end
t = n / 2;
tmax = l / fa;                  % tempo da amostra
m = Banco_Filtro_mel(20, n, fs);                  Equações (37) a (40)
n2 = 1 + floor(n / 2);
z = m * abs(quadro(1:n2, :)).^2;                  Equações (41) a (42)
r = dct(log(z));
```

Figura 43: Implementação MFCC.

Classificação da voz por Quantização Vetorial: Quantização Vetorial é utilizada devido à baixa complexidade computacional e por apresentar soluções aceitáveis com poucos dados de treinamento [181] se comparada a GMM, HMM, DTW e NN.

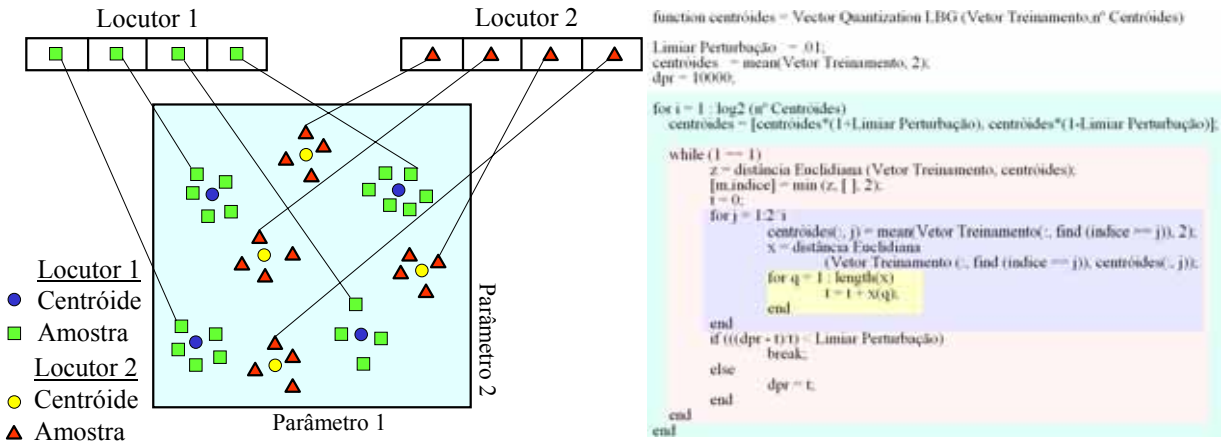


Figura 44: À esquerda: localização dos centróides no espaço paramétrico bidimensional de 2 locutores. À direita: a rotina LBG implementada em linguagem de alto-nível.

Os parâmetros MFCC formam espaço multidimensional. Através da técnica LBG [182], 16 centróides são obtidos. Distância euclidiana dos centróides ao vetor de teste é usada na classificação. Abaixo a interface homem-máquina da implementação, salientando as principais funções Matlab.

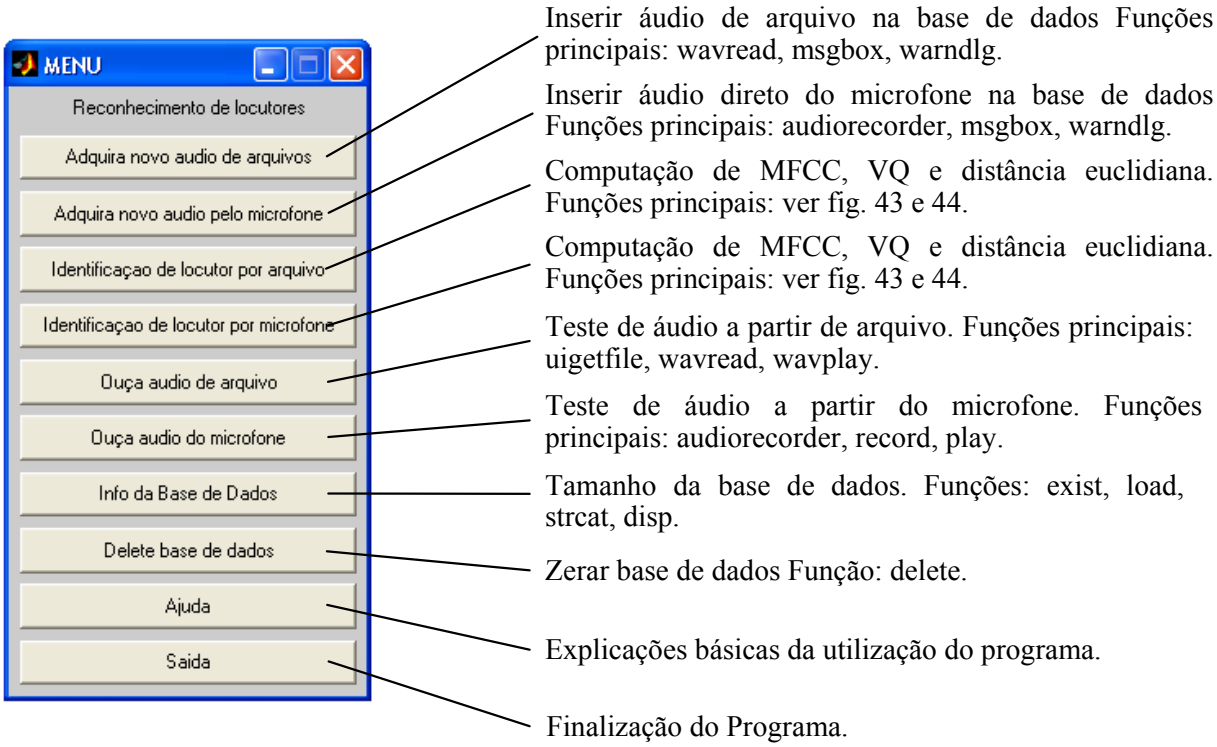


Figura 45: Interface Gráfica de Usuário (GUI) do MFCC + VQ em Matlab e as principais funções de cada botão.

3.5 Fusão

Reconhecimento biométrico é um processo de redução de dimensionalidade, ou fusão de dados. Os Gigabytes provenientes dos sensores são dizimados até chegar nos bits que definem a identificação (1 bit se for verificação). Qualquer setor do reconhecedor reduz dimensão ao rejeitar, combinar ou ponderar informações. A figura 46 ilustra a fusão nos diversos setores do reconhecedor.

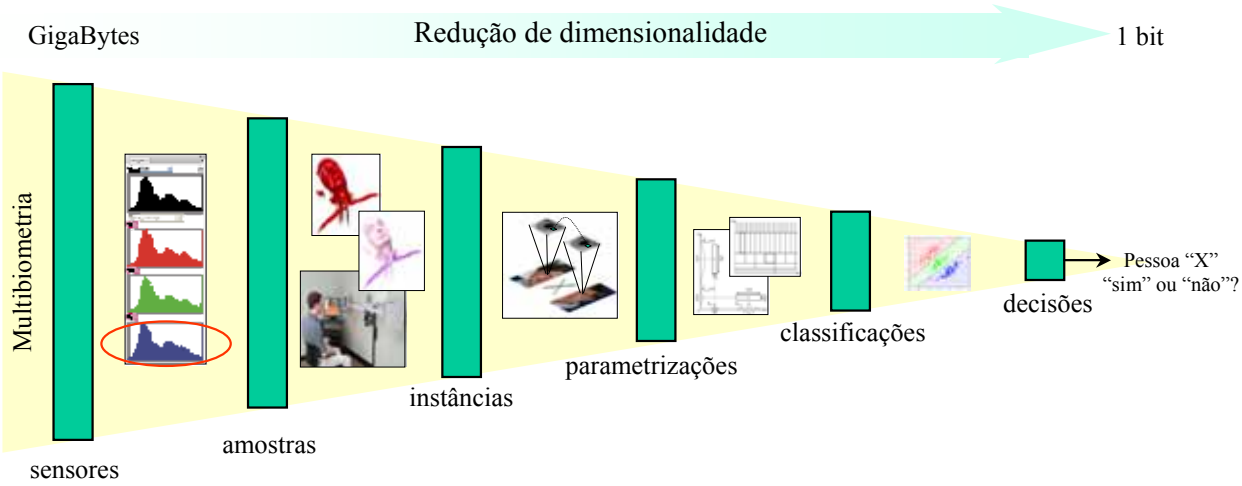


Figura 46:Fusão de dados nas várias etapas do Reconhecedor Multibiométrico.

A tabela 4 exemplifica para cada um dos setores do reconhecedor multibiométrico da figura 46 as suas formas de fusão.

Nível de Fusão	Significado	Exemplos de Redução de Dimensionalidade
Sensores	Captura de biossinais	Escolha de um canal RGB em sensores visuais, etc.
Amostras	Composição	Concatenação de imagens, 3D a partir de 2D, HDR, profundidade de campo, etc.
Instâncias	Lados bilaterais	Segmentação e escolha de assimetrias bilaterais mais pronunciadas, etc.
Parametrizações	Transformação de espaços	Seleção dos parâmetros MFCC, Wavelets, etc.
Classificações	Separação multidimensional	Restrição do espaço multidimensional através de SVM, NN, VQ, etc.
Decisões	Integração final	Contagem, posição, triagem (vide tabela 5).

Tabela 4: Significado e exemplos de nível de fusão nas várias etapas do reconhecedor multibiométrico.

O bloco de decisão final, visto na última linha da tabela 4, utiliza técnicas de fusão descritas na tabela 5 abaixo. A fusão multimodal e multissensor possui ampla literatura científica [183-187].

Modo	Forma de Fusão	Exemplos de técnicas
Triagem	Escolha de um dentre muitos	Regras "AND" e "OR", Voto da maioria, Voto da Maioria Ponderada, Decisão Bayesiana, Teoria da Evidência Dempster-Shafer, Espaço do conhecimento comportamental.
Posição	Consolida Ranqueamento	Método da mais alta posição, Método de contagem de Borda, Método da Regressão Logística.
Contagem	Consolida índices de classificação	Combinação de classificadores (Regra do produto, Regra da soma, Regra do mínimo, Regra da mediana), Fusão de contagem baseada na Densidade, Fusão de contagem baseada na transformação, Fusão de contagem baseada no classificador.

Tabela 5: Exemplos de técnicas utilizadas na etapa final de decisão do reconhecedor multibiométrico.

Em decisões monobiométricas não há espaço para erros, já que, obviamente, a decisão é única. Em multibiometria, uma decisão errônea desfigura diretamente a fusão se a quantidade de traços biométricos não é grande.

Porém, elevando o número de traços, alivia o peso de decisões e a fusão pode usar técnicas mais simples, como voto de maioria ou ranqueamento.

O presente estudo analisa 7 traços biométricos e consolida ranqueamento como fusão pelo método de contagem de Borda. Este método advém da contagem eleitoral proposta pelo físico francês Jean-Charles de Borda em 1770. A contagem soma cada posição no ranqueamento, conforme abaixo [86, p.72]:

$$s_k = \sum_{l=1}^{L} r_{k,l} \tag{43}$$

onde K é o número de usuários e k é o usuário com $k = 1,...,K$. L é o número de classificadores e l é o classificador com $l = 1,...,L$. $r_{k,l}$ é a posição assinalada ao usuário k e classificador l. s_k é a soma obtida pela contagem de Borda ao usuário k.

Capítulo 4 RESULTADOS

4.1 Introdução

A tabela 6 na página seguinte organiza a *rationale* da pesquisa relativa a escolha da população, prazo, ambiente de coleta, avaliações, sensores, algoritmos e traços biométricos. Este trabalho construiu sua própria base de dados devido a baixa resolução de amostras (visível) e a inexistência de assimetrias sonoras (acústico) em base de dados disponíveis. A baixa resolução em banco de imagens biométricas abertas impede salientar diferenças assimétricas passíveis de identificação biométrica.

O capítulo 3 anterior apresentou sensores e descreveu os algoritmos em uso. O capítulo 4 enfatiza a estruturação dos dados, visualização de amostras, compilação dos dados e dificuldade nos testes.

A apresentação dos resultados divide-se em três partes de acordo com o tipo de sensor: 4.2) Visual; 4.3) Infravermelho e 4.4) Acústico. Estes resultados são fusionados em 4.5.

A seção 4.2 descreve a estruturação de dados do: 4.2.1) Método da Correlação e 4.2.2) Método Wavelet + Redes Neurais. E finaliza em 4.2.3 com a compilação dos resultados por ambos métodos para os cinco traços biométricos captados pelo sensor de espectro visível, tanto PB, como sem-PB.

A estruturação dos dados para a seção 4.3 é a mesma da seção 4.2, portanto, não se repetem as explanações. A compilação dos dados obtidos para as bochechas captadas pelo sensor de espectro infravermelho é vista em 4.3.1, com e sem-PB.

Como o sensor acústico não possui estudos similares para confrontar, três microfones foram usados simultaneamente até que familiaridade e credibilidade nas medidas fossem alcançadas. A seção 4.4 apresenta os resultados dos três tipos de microfones, inicialmente para instrumento musical de grande reverberação (4.4.1). Posteriormente, o trio de pares de microfones emprega-se em seres humanos (4.4.2). Em 4.4.3, os resultados relevantes ao PB são observados a longo e curto-prazo. A compilação dos dados acústicos está em 4.4.4, quando se dispõem os dados PB versus sem-PB.

A seção 4.5 une os resultados dos sete traços biométricos para determinar o seu efeito na identificação de pessoas.

Item	Característica	Razão
População	9 irmãos homens	Menor distância genética possível, exceto gêmeos.
Coleta	1 ano e até 20 amostras p/ pessoa	Tempo e quantidade suficientes para checar estabilidade das biometrias.
Ambiente	Personal Computer	Flexibilidade e disponibilidade. Rotinas rodam em PC Duo CPU E6550, 2,3GHz e 2G RAM.
BL x BL	Bilateral oposta impostora	Mais difícil que discernir MZ. A própria pessoa é incapaz de discernir seus BL se desfeita a quiralidade.
PB x sem-PB	Confronto de técnicas	Teste comparativo para verificar a eficiência da técnica PB.
Sensor 1	Câmera de espectro visível	Alta resolução e alta magnificação para salientar diminutas assimetrias nos traços biométricos.
Sensor 2	Câmera infra-vermelho	Emissão térmica das pessoas destacam a assimetria do sistema vascular interno sob a face.
Sensor 3	Microfone de contato	Visa assimetrias reverberatórias durante fonação. Reflexões no ambiente consideradas desprezíveis.
Método Imagem 1	Correlação	CPR é método sem parametrização e comparação completa teste versus base de dados.
Método Imagem 2	Wavelet + NN	Método de parametrização com separação em espaço e freqüência, e classificação não-linear.
Método Acústico PB	Pan	Diferença normalizada para detetar reverberações na epiderme facial.
Método Acústico sem-PB	MFCC + VQ	Método extra sem-PB, pois PB tem inerente diferença BL que impede tratá-los independentemente.
Biometria visível 1	Dente	Dentes estáveis e de fácil acesso à forma dos dentes frontais. Acesso à completa arcada é intrusivo.
Biometria visível 2	Orelha	Cartilagem e veias da orelha são estáveis. Oclusão por cabelos evitada.
Biometria visível 3	Narina	Cartilagem nasal estável, exceto em respiração exacerbada devido à dilatação das narinas.
Biometria visível 4	Digital	Resolução a nível de poros. Obtida sem contato com superfície por ser menos intrusivo.
Biometria visível 5	Íris	Parte inferior da íris. Parte superior oclusa por cílios e pálpebra, além de reflexos da iluminação.
Biometria infra-vermelho	Bochecha	Não coincide com biometrias obtidas pelo sensor visível e exibe comportamento vascular facial.
Biometria acústica	Vibração de sons vocálicos na face	Músculo masseter, região de alta vibração. Intrusivo devido a indisponibilidade de sensor não-intrusivo.

Tabela 6: Características e motivos dos testes realizados.

4.2 Resultados para Biometrias por Sensor Visual

Os traços analisados foram: contorno dentário frontal, veias e textura das orelhas, formato das narinas, impressão digital do dedo e íris. Alguns exemplos de biometrias visuais adquiridas durante o estudo são apresentados abaixo. A íris não aparece abaixo, mas é usada como referência da técnica PB na seqüência da seção 4.2.

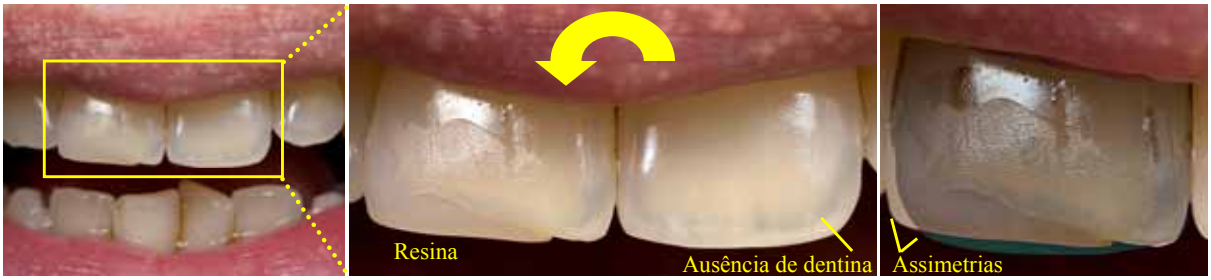


Figura 47: Dentes frontais são de fácil acesso durante fala. Foto à direita: dente esquerdo da pessoa é refletido e subtraído do direito com fator de preenchimento de 33% para salientar assimetrias.

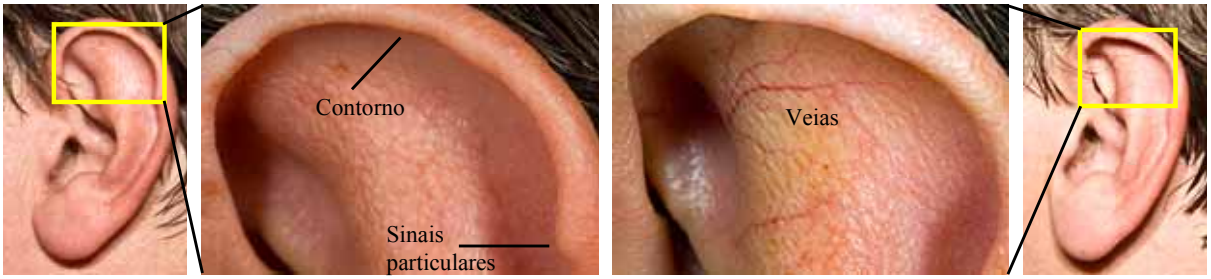


Figura 48: Orelhas como biometria - fotos da mesma pessoa, sendo à direita imagem espelhada. Fotografias centrais salientam contorno, veias e sinais particulares.

Figura 49: Cartilagens nasais e narinas como biometria. Três irmãos possuem deformações nasais para três direções distintas.

Figura 50: Impressão digital como biometria – detalhes de sulcos, poros e bifurcações [188]. *Fotos à direita são digitais de 2 irmãos. Captura das digitais é sem-contato (baixa intrusividade).*

4.2.1 Método da Correlação

A seguir, exemplo do PB-Correlação atuando em um traço (íris) – *outros traços são perscrutados de maneira similar.*

Considera-se a mesma seqüência detalhada no capítulo 3, i.e., alinhamento, segmentação e bilaterismo. Após o bilaterismo, determinam-se todas as principais discrepâncias entre esquerda e direita e seleciona-se os cinco principais. Assim, a fase de testes pode iniciar. A figura 51 mostra a correlação de um segmento teste com a base de dados de quatro segmentos bilaterais (um genuíno e três impostores) com mesma localização na íris do segmento. Gráficos coloridos em 3D são da correlação cruzada. Genuíno possui pico acentuado e o valor de γ_{PEAK} é o máximo do gráfico. Em caso de impostor, seja do lado bilateral oposto, ou de outra pessoa, o pico acentuado não ocorre. A figura 51 indica que, apesar do teste e base de dados captados com meses de separação, forma e textura da genuína são estáveis.

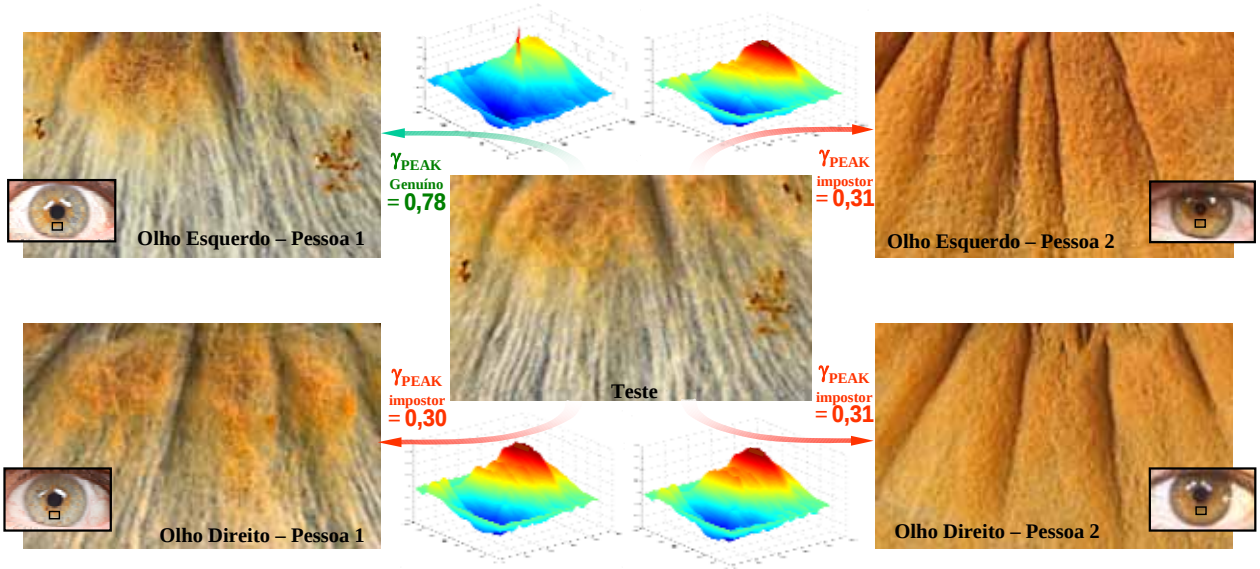


Figura 51: Segmentos da íris das pessoas 1 (fotos à esquerda) e 2 (fotos à direita). Olhos esquerdos são as fotos superiores e olhos direitos são as fotos inferiores. Ao centro o segmento em teste.

A figura 51 exemplifica a correlação para um segmento e duas pessoas. Porém, ao todo são dois lados de nove pessoas e o bilaterismo indica 5 posições de segmentos por pessoa – totalizando 45 posições de segmentos a serem localizados nas 18 íris.

O método sem-PB, i.e., sem segmentação e bilaterismo, corresponde ao método PB só que em vez de segmento, usa-se o traço inteiro.

A figura 52 apresenta a matriz de γ_{PEAK} obtidos para cada segmento e também para o caso sem-PB, o γ_{PEAK} de toda íris. Azul representa genuíno, amarelo é impostor.

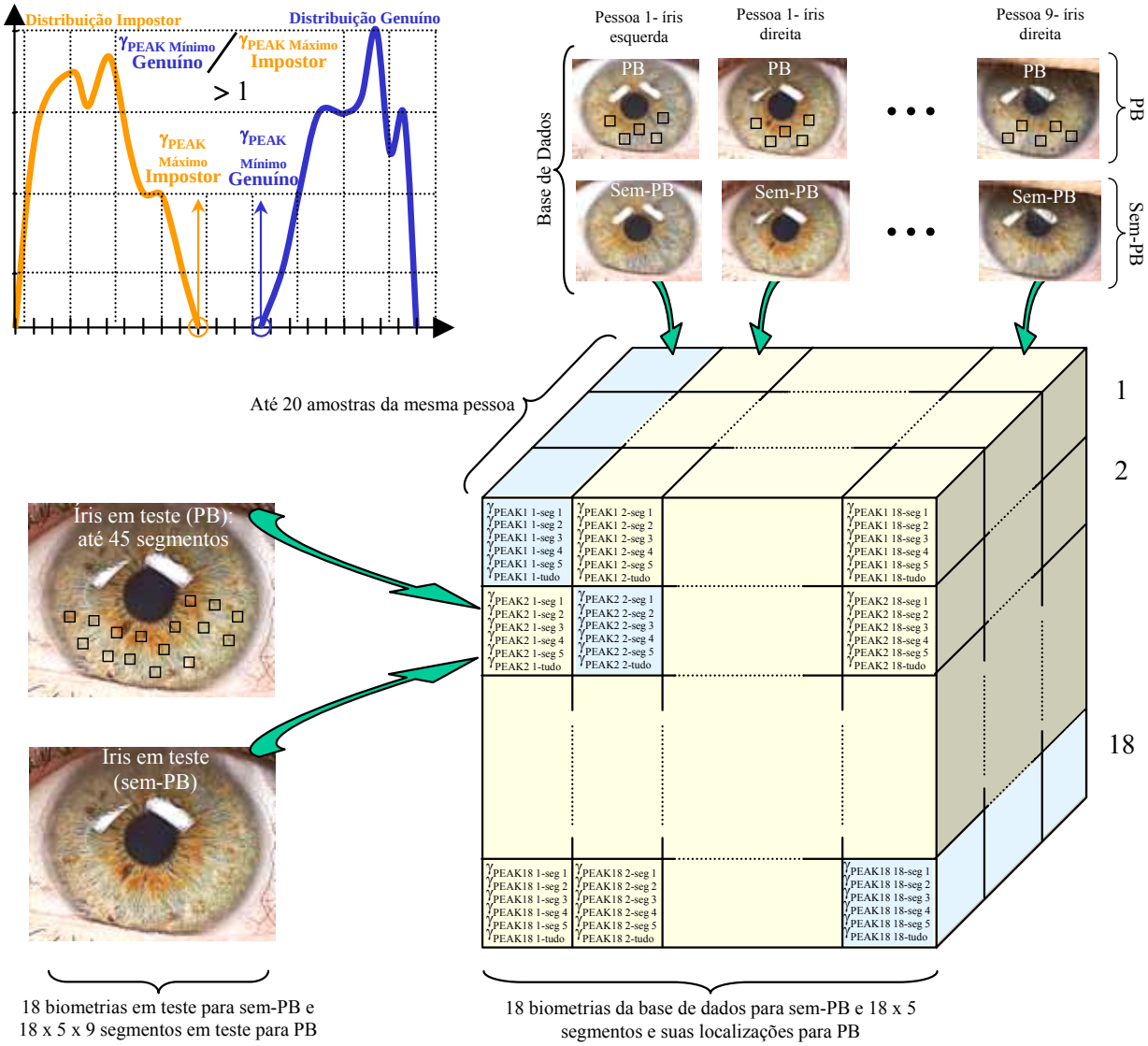


Figura 52: Matriz de γ_{PEAK} para os métodos da Correlação Cruzada PB e sem-PB. PB: baseado nas localizações obtidas no bilaterismo, 45 segmentos são extraídos (9 x 5, já que as posições dos segmentos para teste com base de dados esquerda e direita são as mesmas). Cinco pares de segmentos teste e base de dados são comparados e cinco γ_{PEAK} obtidos por BL de cada pessoa. Sem-PB: Não há segmentos, γ_{PEAK} é obtido por traço biométrico completo.

A avaliação de performance é a divisão de γ_{PEAK} genuíno sobre impostor, indicador de separação das distribuições, como se observa na figura 52, acima à esquerda. Para cada um dos segmentos (e também para o traço biométrico completo) obtém-se a relação. O objetivo é a relação de γ_{PEAK} ser maior que um, porém, se a identificação é incorreta, a relação é menor que um. O exibido na compilação de dados em 4.2.3 é a pior relação. Em outras palavras, a menor ($\gamma_{PEAK\ genuíno}$ / $\gamma_{PEAK\ impostor}$).

4.2.2 Método Wavelet + Redes Neurais

Diferença de imagens é o núcleo do PB Wavelet + NN. A figura 53 mostra, após o alinhamento, como ficam as diferenças de íris: A) da mesma pessoa, mesmo olho; B) mesma pessoa, olho oposto e C) pessoas distintas. Cor branca indica pouca variação; cor escura, grande variação. "B" indica assimetria bilateral e determina quais partes da íris devem ser segmentadas pelo método PB Wavelet + NN.

As diferenças estão como esperadas, i.e., "A" < "B" < "C". Há regiões, como o anel externo da íris, com pouca informação biométrica, ou seja, não fornece relevantes segmentos. O anel também é sujeito à obstrução da pálpebra.

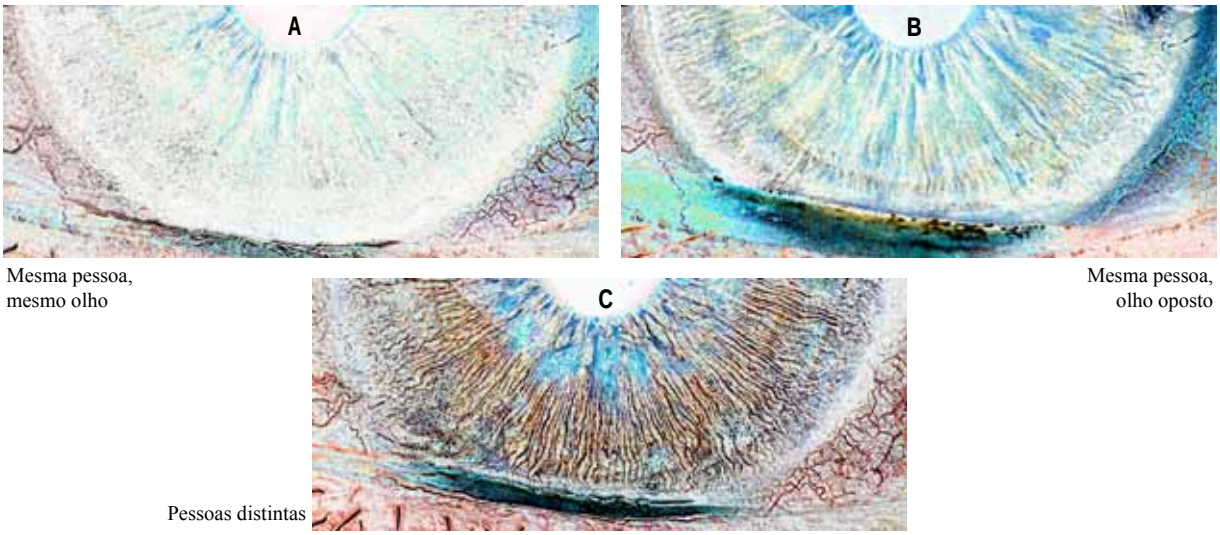


Figura 53: "A" é a diferença de imagens da mesma íris espaçadas por semanas. "B" é a diferença entre íris esquerda e direita, contemporâneas. "C" é a diferença entre íris de irmãos. Observa-se que apenas a parte inferior da íris em análise, pois a parte superior padece de oclusões e reflexos.

Diferenças de imagens são o núcleo do processamento da segmentação e bilaterismo. Porém, com Wavelet, a diferença é ponderada, já que há separação em espaço e freqüência. Variações pequenas em ângulo ou escala afetam o espectro de baixa freqüência, enquanto que pequenas oclusões impactam no espectro de alta freqüência, portanto parâmetros intermediários recebem maior ponderação [166].

Na página seguinte está a estruturação dos dados da técnica, explanada através do diagrama de blocos. O identificador, em seu processo decisório, recebe na entrada 810 segmentos (PB) e 18 traços biométricos completos (sem-PB).

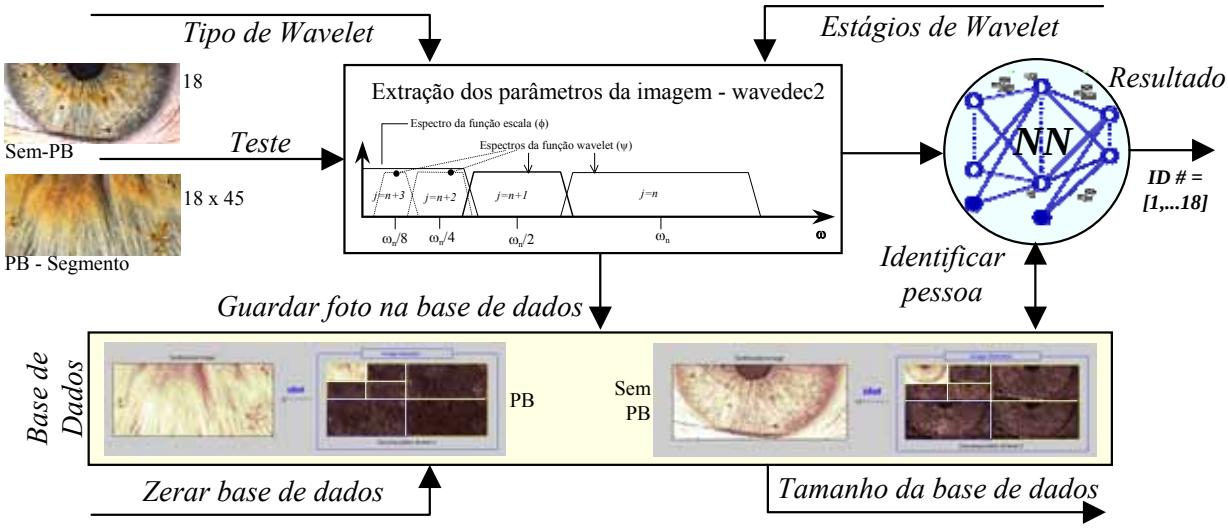


Figura 54: Diagrama de blocos Wavelet + NN.

A figura 54 exibe o diagrama de blocos Wavelet + NN. Os comandos desta figura são os mesmos da figura 38. À esquerda, um segmento (PB), ou um traço biométrico completo (sem-PB), entra no sistema e extrai-se parâmetros wavelets. Estes parâmetros, ou são guardados na base de dados para treinamento, ou são testados contra a base de dados para identificar a pessoa. Neste último caso, a comparação é realizada em espaço multidimensional, sendo as curvas interclasses determinada por NN. Na saída do sistema, o número do identificador (ID) é gerado, i.e., de "1" a "18". Apenas ID contrasta com método da Correlação, pois esse último obtém também o *ranking* da identificação. O processamento PB e sem-PB Wavelet + NN, visto aqui para a íris, é similar a outros traços biométricos. Salienta-se que a nível ocular, tanto para o método da Correlação como Wavelet, intensionava não se limitar à íris – veias oculares seriam inclusas na análise. Porém, ao final foram descartadas – ver fig. 55.

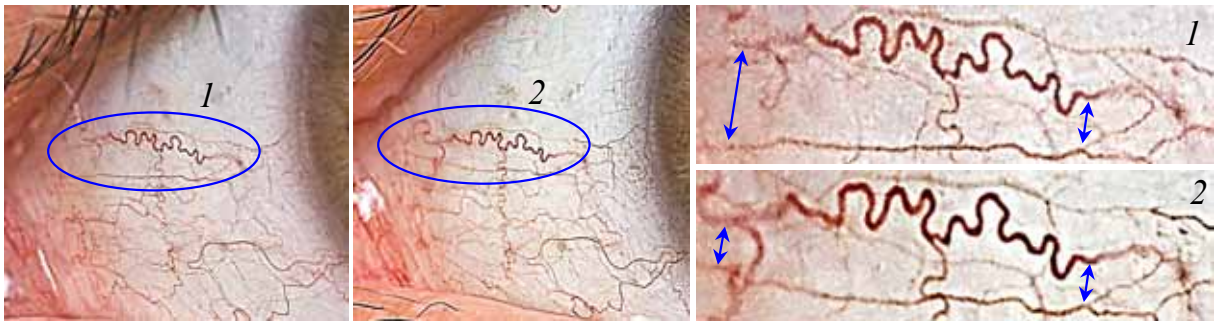


Figura 55: Fotos do mesmo olho espaçadas por semanas – áreas de destaque "1" e "2". Veias oculares são biométricas e era intenção não se limitar à íris e incluí-las no estudo. Entretanto, há variabilidade do grau hiperêmico e da posição relativa das veias. Devido ao ambiente aquoso interno ao globo, veias oculares deslocam-se uma em relação à outra, principalmente distantes da íris. A mobilidade das veias oculares prejudica o rastreamento e por isso elas não foram consideradas.

4.2.3 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB – Visível

A tabela 7 compara "sem PB" e "com PB" para os 5 traços captados no espectro visível. Duas colunas à esquerda (sem e com PB) são para o método da Correlação e duas colunas à direita (sem e com PB) para o método Wavelet e Redes Neurais.

O método da Correlação derivou um conjunto de até 18 x 18 x 20 x 5 γ_{PEAK} valores por traço. As colunas à esquerda da tabela 7 exibem a menor divisão, i.e., γ_{PEAK} de um genuíno dividido pelo γ_{PEAK} de um impostor que dê o menor valor. Por exemplo, para um segmento de uma pessoa em teste versus uma linha de amostra da base de dados são calculados 1 genuíno e 17 impostores γ_{PEAK}. Obtém-se a menor relação ($\gamma_{PEAK\ genuíno}$ / $\gamma_{PEAK\ impostor}$) das 17 possíveis. Este processo, então, repete-se para as outras (até) 19 amostras, os outros 4 segmentos e os outros 17 BL. Para o método sem-PB, o mesmo processo, só que oriundo de uma matriz de 18 x 18 x 20 de γ_{PEAK} . Tab.7 apresenta o *rank* do genuíno entre parêntesis ao lado da pior relação de γ_{PEAK}.

O método Wavelet e Redes Neurais entrou com 18 x 45 segmentos de teste e saiu com número de identificação de 1 a 18 (ID# para os lados bilaterais das 9 pessoas) por traço. Até 19 amostras foram usadas para treinar a NN. Colunas à direita mostram o percentual de acerto obtido para genuínos. Sem-PB entrou com 18 traços completos e saiu com número de identificação de 1 a 18.

Biometrias Visuais	**Menor Relação Genuíno/Impostor da Correlação Cruzada SEM Processamento Bilateral**	**Menor Relação Genuíno/Impostor da Correlação Cruzada COM Processamento Bilateral**	**Êxito ao Identificar Wavelet + Redes Neurais SEM Processamento Bilateral**	**Êxito ao Identificar Wavelet + Redes Neurais COM Processamento Bilateral**
DEDO	0,88 (5º)	1,48 (1º)	30%	100%
DENTE	0,85 (4º)	1,01 (1º)	28%	100%
NARIZ	0,57 (6º)	1,13 (1º)	34%	100%
ÍRIS	0,96 (3º)	2,48 (1º)	12%	100%
ORELHA	0,72 (12º)	1,46 (1º)	25%	100%

Tabela 7: Resultados da identificação de imagens no espectro visível (2 x 9 pessoas: lado esquerdo é considerado impostor do lado direito e vice-versa). Duas colunas são reservadas à técnica de Correlação Cruzada (parêntesis indicam o rank obtido) e duas colunas ao Wavelet + Redes Neurais.

Observa-se na tabela 7 que o PB foi superior ao sem-PB em todas as biometrias, ao usar o mesmo algoritmo. O método sem-PB não só confundiu os lados bilaterais (a confusão aleatória de BL traz a percentagem de acerto ao redor de 50%), mas também atribuiu traços a pessoas erradas. Entretanto, é importante observar:

•Para o dente, por exemplo, o resultados PB foram próximos do erro. É provável que um 6º segmento, ou nº de amostras de biometrias acima de 20, ou nº de pessoas acima de 9, implicassem em erro.

•Os contornos das fotos do traço completo não foram manipulados, i.e., para a íris, por exemplo, parte da esclera, pálpebras, cílios ficaram nas fotos. Estas partes, mesmo após alinhamento, variam muito e deterioram a identificação sem-PB. PB não sofre com contornos, já que restringe-se à parte potencialmente biométrica.

•Adotou-se a comparação PB vs. sem-PB via custo similares. O custo do sistema biométrico é proporcional à parte fixa (sensor) e à parte variável: número de operações aritméticas (dependente do tamanho da imagem) e ao armazenamento (dependente do tamanho da imagem e da população). Se o tamanho dos padrões são similares, o custo PB e sem-PB são similares, a menos do custo do sensor.

•Com padrões similares, o sensor exigido ao sem-PB é menos sofisticado, e assim, mais barato, que o do PB. Entretanto, o custo do sensor é fixo e dilui-se no custo total de um sistema biométrico com o aumento da população. Para grandes populações, considera-se este custo como não preponderante.

•O sensor mais barato sem-PB foi simulado através das mesmas imagens do sensor PB. Isto é, a imagem do traço sem-PB teve seu tamanho em pixels reduzido para se compatibilizar com o tamanho de imagem dos segmentos PB.

•Com imagens de tamanhos compatíveis, o tempo de processamento durante a classificação de um segmento ou de um traço completo são similares (a rigor, usam-se 5 segmentos, i.e., PB é aproximadamente 5 vezes o tempo de processamento do sem-PB), mas não são idênticos. Em outras palavras, o método PB possui segmentação e bilaterismo, que aumentam o tempo de processamento em relação ao sem-PB (não há segmentação e bilaterismo para sem-PB). A segmentação atua em PB durante o treinamento e a classificação. Já o bilaterismo só ocorre durante o treinamento (não há bilaterismo na classificação). Contudo, a segmentação é uma simples partição da imagem, e considera-se o nº de operações aritméticas necessárias como irrelevantes. E a eficácia computacional só é requerida na classificação, já que o treinamento pode ser feito em segundo plano. Assim sendo, para funções em tempo-real, o tempo de processamento PB e sem-PB são semelhantes.

•Outra alternativa de comparação seria: performance PB e sem-PB similares, mas custos distintos. É esperado que, se sem-PB usar computadores mais robustos e assim, de maior custo, para manipular arquivos da resolução original do sensor utilizado, a performance sem-PB se aproxima da PB.

Apesar de alguns detrimentos apontados acima, resultados indicam que assimetrias detectadas durante a formação da base de dados são biometricamente estáveis para ambos métodos, da Correlação e Wavelet + NN, de PB. Os segmentos, devido a resolução do sensor, envolvem áreas bem diminutas: ao redor de 1 mm^2. Mesmo assim com grande quantidade de informação biométrica.

PB mostrou separação entre genuínos e impostores para os 5 segmentos dos 5 traços, enquanto para sem-PB, as duas distribuições cruzaram para os 5 traços.

4.3 Resultados para Biometrias por Infravermelho

Termogramas usam escala visual (e.g., cores, níveis de cinza, etc.) para representar emissividade calórica. A figura 56 apresenta termograma facial (2D e 3D) de uma das pessoas em teste. Abaixo de 19ºC equivale ao azul/preto, acima de 41ºC é vermelho/branco e gradiente de cores entre estes extremos.

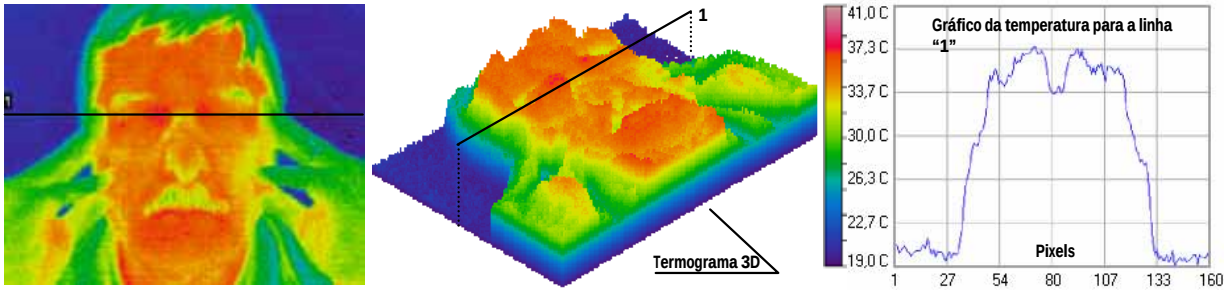


Figura 56 À esquerda está o termograma em 2D. Ao centro, o mesmo termograma em 3D. À direita, o gráfico da variação de temperatura da linha 1 e sua correspondente associação com cores.

A figura 57 abaixo mostra irmãos "1" e "2" em teste sob três ângulos distintos: lateral direita, frontal e lateral esquerda. O ritmo fisiológico interno acarreta no aparecimento de padrões assimétricos nas faces destas duas pessoas em análise.

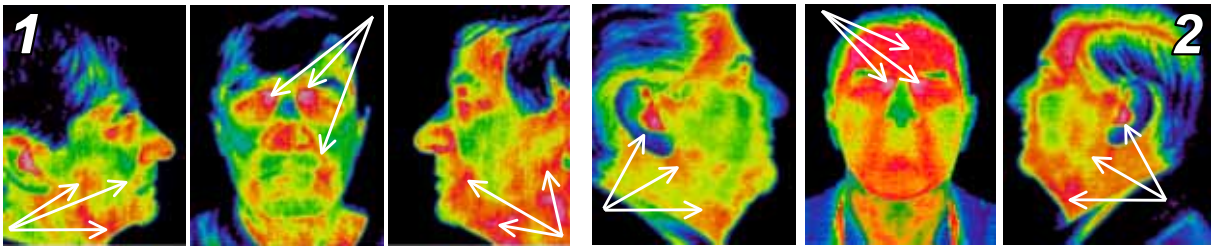


Figura 57: Padrões de termogramas distintos entre duas pessoas. Testa, maxilar e pescoço do irmão "2" à direita é mais aquecida que o restante da face do que o da irmão "1" à esquerda. O foco principal são assimetrias, e nos dois casos nota-se áreas isotérmicas distintas entre os BL.

Formas termo-assimétricas mantêm-se estáveis ao longo do tempo, como se comprova na comparação entre a figura 57 acima (face inteira) e a figura 58 abaixo (queixo e pescoço) das mesmas pessoas 1 e 2.

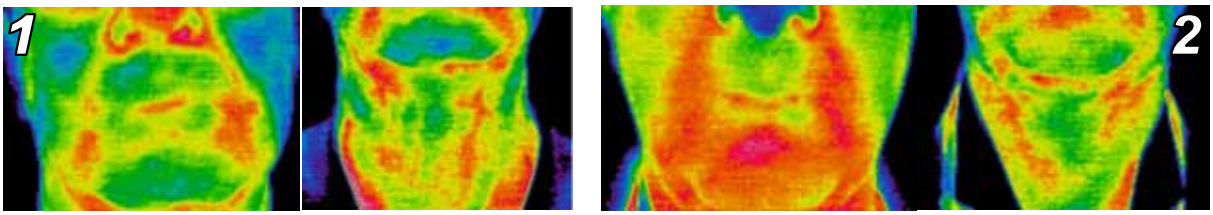


Figura 58: Fotos térmicas das mesmas pessoas da figura 57, espaçadas de alguns dias, com ênfase no queixo e pescoço.

Curvas isotérmicas possuem potencial biométrico. Se a luz ambiente não emite calor proeminente (e.g., sol incidindo na face), a captura não é de difícil controle, já que o corpo é a fonte de iluminação.

Entretanto, há óbices. A temperatura da epiderme altera com clima e estado físico-emocional das pessoas. A figura 59 exibe o efeito da temperatura ambiente no termograma da pessoa. O nariz, por exemplo, tem sua temperatura relativa ao resto da face alterada em dias frios, e até durante o ciclo respiratório. Para minimizar o efeito de variações ambientais e físico-emocionais, o software de controle das fotos infravermelho ajusta para que o valor mínimo e máximo de temperatura recaiam sobre a face da pessoa, sem se importar com o entorno, orelhas, cabelos ou nariz.

Em outras palavras, regiões fora da área de interesse eventualmente ficam saturadas, i.e., na cor preta (abaixo da temperatura mínima) ou branca (acima da temperatura máxima). Bigodes, barba, cabelo, roupa, etc., bloqueiam a emanação calórica e, por conseguinte, dificultam o reconhecimento. Elementos externos, como óculos, também bloqueiam e requisitou-se sua retirada durante a aquisição.

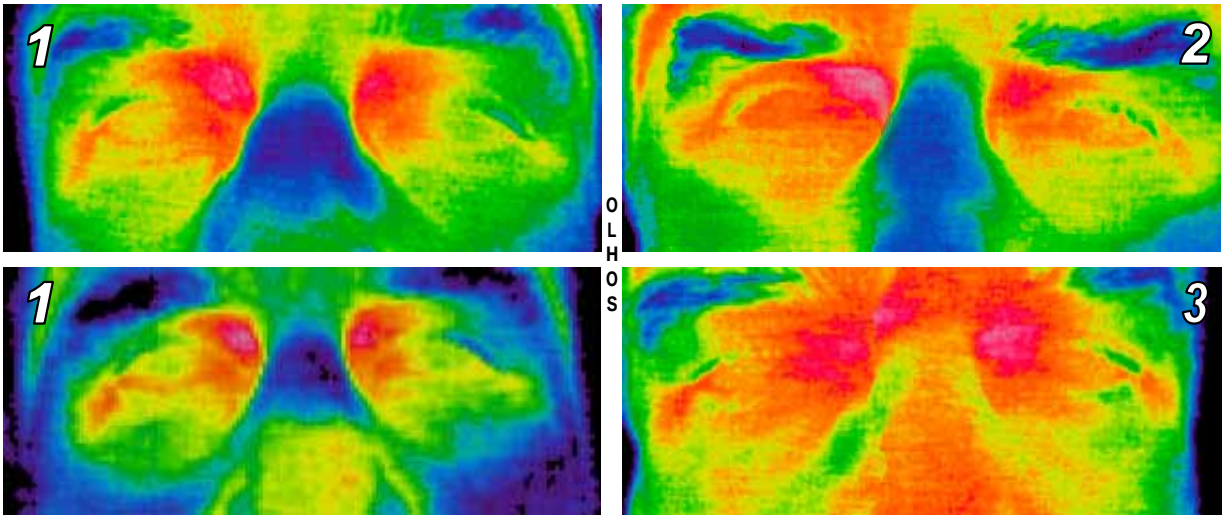


Figura 59: Termogramas dos olhos das pessoas "1", "2" e "3". As duas fotos da pessoa número 1 foram tiradas em condições climáticas distintas. Foto da pessoa "1" superior é de um dia com temperatura ambiente de 15ºC, e a inferior com 25ºC. Observar que as texturas isotérmicas se mantêm, exceto o nariz. As pessoas "1", "2" e "3" possuem texturas térmicas diferentes entre si.

A região de aquisição (bochechas) apresenta a vantagem de não coincidir com áreas de outras biometrias analisadas pelo sensor visível, portanto, mesmo em outro comprimento de onda em relação ao espectro visível, evita-se redundâncias geográficas. Fotos das figuras 57 e 58 mostram esta região em análise.

4.3.1 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB-Infravermelho

Este subcapítulo possui semelhanças com o 4.2.3, afinal são os mesmos métodos PB e sem-PB para visível e infravermelho. Portanto, várias observações do 4.2.3 são válidas aqui e não são repetidas, apenas as diferenças mencionadas.

A tabela 8 compara "sem PB" e "com PB" para o traço captado no espectro infravermelho. Duas colunas à esquerda (sem e com PB) são para o método da Correlação e duas colunas à direita (sem e com PB) para o método Wavelet e Redes Neurais.

Foram aplicadas as mesmas rotinas de reconhecimento visual para as imagens térmicas. Porém, o sensor térmico usado possui 1000 vezes menos pixels que o sensor visual. Para diminuir esta enorme diferença, fotos térmicas foram concatenadas. Mesmo assim, a área física de cada segmento térmico é ao redor de 10 cm^2. As áreas enfocadas do Processamento Bilateral foram bochechas, pescoço e testa. Pescoço e testa têm acentuadas assimetrias térmicas, mas acabaram excluídas do computo final devido a freqüentes obstruções de roupas e cabelo. Bochechas são raramente obstruídas.

Biometria Infra-vermelho	**Menor Relação Genuíno/Impostor da Correlação Cruzada SEM Processamento Bilateral**	**Menor Relação Genuíno/Impostor da Correlação Cruzada COM Processamento Bilateral**	**Êxito ao Identificar Wavelet + Redes Neurais SEM Processamento Bilateral**	**Êxito ao Identificar Wavelet + Redes Neurais COM Processamento Bilateral**
BOCHECHA	0,75 (12º)	1,10 (1º)	33%	100%

Tabela 8: Resultados da identificação de imagens no espectro infravermelho. Duas colunas são reservadas à técnica de Correlação Cruzada e duas colunas ao Wavelet + Redes Neurais. A menor correlação cruzada de imagem (ou segmento) térmico genuíno dividido pela maior correlação cruzada de impostor gera a "Pior Relação Genuíno/Impostor".

Resultados acima indicam que assimetrias detectadas durante a formação da base de dados foram biometricamente estáveis para ambos métodos de PB para imagens.

Como em 4.2.3, a imagem do traço sem-PB teve seu tamanho em pixels reduzido para se compatibilizar com a dos segmentos PB. Devido a isto, o método sem-PB não só confundiu os lados bilaterais, mas também atribuiu traços a pessoas erradas.

4.4 Resultados para Biometrias por Sensor Acústico

A apresentação desta seção divide-se em: (4.4.1) aquisição acústica em instrumentos musicais, (4.4.2) Aquisição acústica em seres humanos, (4.4.3) Método PB acústico analisando a diferença normalizada da voz a longo e curto-prazo e (4.4.4) compilação dos dados de identificação e comparação PB vs. sem-PB.

Como visto em 3.3.3, há três pares de microfones nos experimentos. Apenas um é usado na identificação, os outros são para avaliação e confiança sobre a veracidade dos dados. Em 4.4.1 comparam-se os três pares diante de um instrumento musical. O capacitivo é o par da identificação, assim, a comparação para seres humanos divide-se em duas partes: (4.4.2.a) externo x capacitivo e (4.4.2b) piezo x capacitivo.

A seção 4.4.3 exibe algumas formas de ondas da aquisição das pessoas em teste e mostra a análise PB de acordo com o tempo: a) longo e b) curto-prazo.

Assim como nos métodos PB de imagens, 4.4.4 apresenta dados e confronto das técnicas envolvidas PB e MFCC + VQ.

4.4.1 Aquisição Acústica em Instrumentos Musicais

Antes da análise humana, compararam-se a performance dos três tipos de sensores em um instrumento musical de ressonância acentuada (violão). A figura 60 mostra a localização dos três pares de sensores para aquisição durante a vibração de uma corda (cordas restantes foram amortecidas para evitar a indução de vibração).

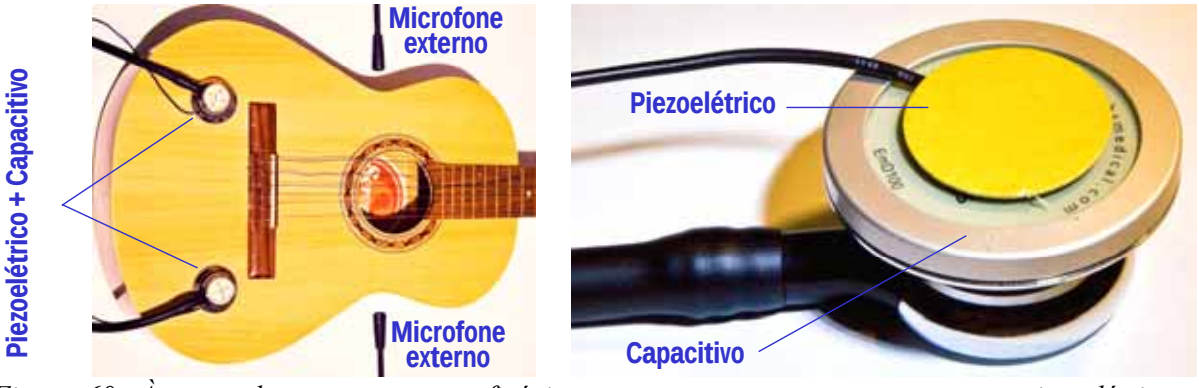


Figura 60: À esquerda: para testar a eficácia, compararam-se sensores externos, piezoelétrico e capacitivo, sempre dispostos em posições bilateralmente simétricas ao violão. À direita: o acoplamento dos sensores piezoelétrico e capacitivo. Desprezaram-se quaisquer diferenças de áreas e interação vibracional entre ambos sensores de contato.

A figura 61 mostra 3 tipos de gráficos de análise dos canais esquerdo e direito: amplitude no tempo, espectrograma e pan. Este último é o mais importante para avaliar assimetrias dos modos vibracionais e é obtido pelas equações do item 3.4.3.c – no caso da fig.61, pan-amplitude. Pan-Amplitude é a relação entre amplitude esquerda e direita para uma determinada freqüência ao longo do tempo. Pan-Fase é a relação entre fase esquerda e direita.

Todos os 9 gráficos da fig.61 referem-se ao mesmo evento: a batida de uma nota de 105 Hz no violão. As escalas dos gráficos são equivalentes. Na primeira linha de gráficos, observa-se o decaimento exponencial da vibração da corda, mas deteta-se distinção entre esquerdo e direito. Na 2ª linha de gráficos (espectrogramas) os pares de sensores captam a freqüência fundamental (105 Hz) e suas harmônicas que caracterizam o timbre. Extrai-se a 7ª destas harmônicas e obtém-se os gráficos da última linha (pan). O sensor capacitivo possui o sinal mais puro dos três sensores e pode-se notar o deslocamento de energia de um lado a outro do violão a cada 3 seg.

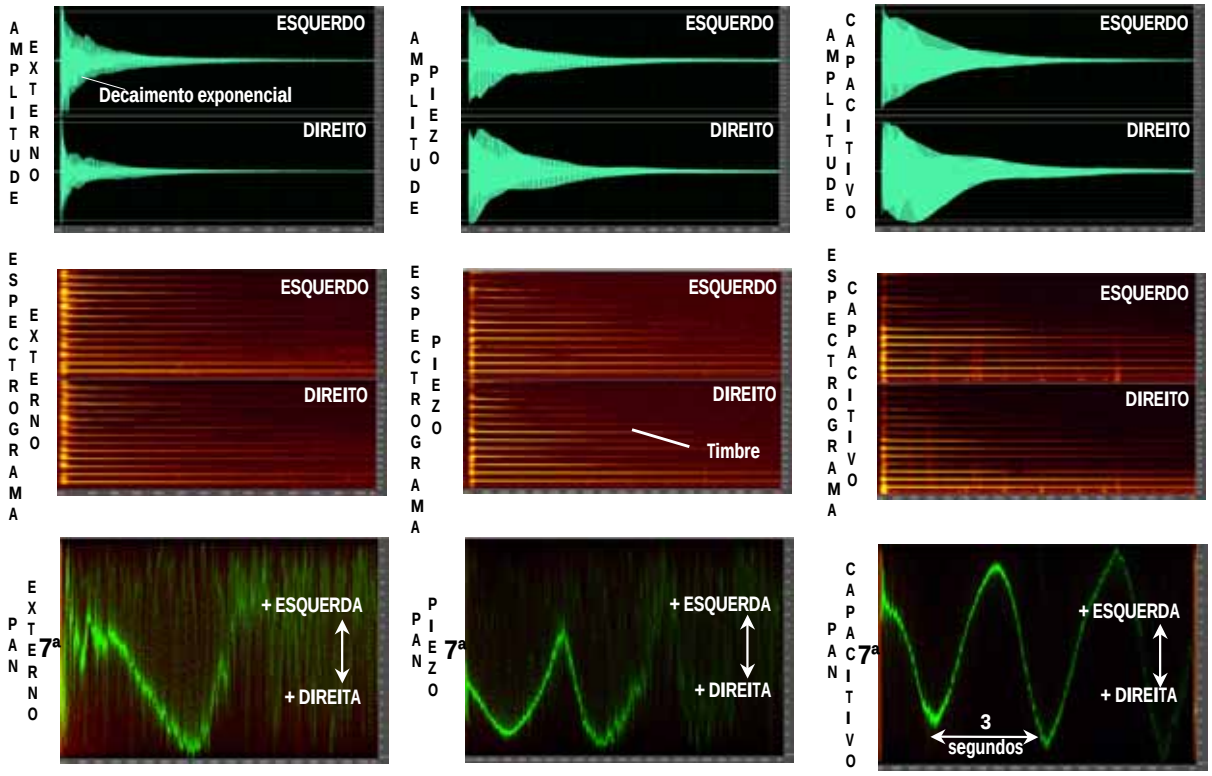


Figura 61: Batida de uma nota de 105 Hz do violão. Sinais piezo e capacitivo são da mesma batida. Observações: Amplitude: decaimento exponencial. Espectrograma: Timbre do violão. Pan: Externo e piezo sucumbem rapidamente ao nível de ruído, enquanto que capacitivo mostra a flutuação de toda energia do lado esquerdo ao direito a cada três segundos para a 7º harmônica.

4.4.2 Aquisição Acústica em Seres Humanos

Similar ao instrumento musical, as amostras sonoras humanas são captadas por microfones de contato bilateralmente colocados sobre o músculo masseter, na junção do maxilar com a mandíbula, conforme figura 62, e pelo par de sensores externos.

Sensores de contato piezoelétrico e capacitivo estão acoplados conforme figura 60 à direita. Os microfones externos estão bilateralmente a 5 cm da face e dos sensores de contato.

Os três pares captam simultaneamente a pronúncia de ditongos [ai], i.e., fonações puramente vocálicas sob entoação constante.

Os microfones de contato ficam sob pressão constante à pele da pessoa em teste, e imobilizados para evitar vibrações adicionais.

Corpos humanos, obviamente, não apresentam o caráter exacerbado de ressonâncias e reverberações de instrumentos musicais como o violão, mas sim complexas variações espaciais e biométricas.

A comparação está dividida em:

4.4.2.a) Externo X Capacitivo;

4.4.2.b) Piezoelétrico X Capacitivo.

Após esta comparação entre os três pares de sensores, as seções 4.4.3 e 4.4.4 mencionam apenas o sensor de contato capacitivo, devido às suas vantagens apontadas nas seções 4.4.1 e 4.4.2.

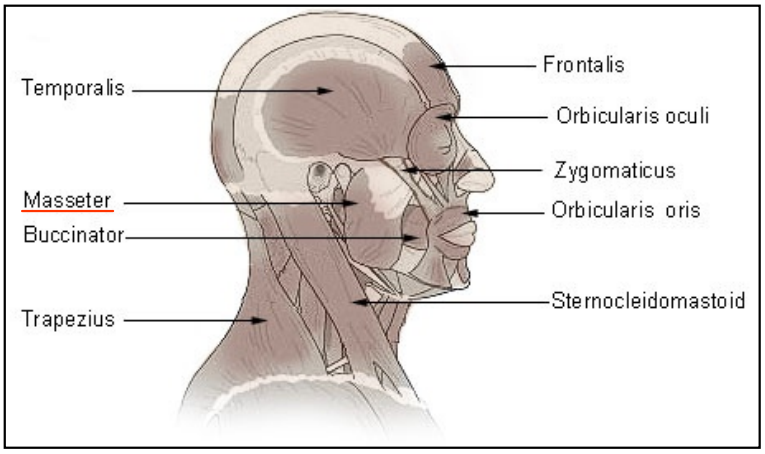


Figura 62: À esquerda, microfones de contato capacitivo e piezoelétrico (não visível) posicionado sobre o músculo masseter (ver à direita) para aquisição simultânea com o lado bilateral oposto (figura à direita é do governo dos EUA e está sob domínio público).

4.4.2.a Externo X Capacitivo: A figura 63 refere-se a pronúncia do ditongo [ai]. As figuras à esquerda são dos microfones externos e à direita dos microfones de contato, captadas simultaneamente da mesma pessoa. Nesta figura 63 há 3 tipos de gráficos: amplitude do sinal da voz no tempo, espectrograma e pan. Este último é a relação entre amplitude esquerda e direita da freqüência fundamental (entoação).

Observar que, apesar da mesma pronúncia e entoação praticamente constante, o pan externo é invariante no tempo e o pan de contato desloca-se do direito para esquerdo na transição do ditongo. Captar estas variações de energia entre os lados bilaterais é uma importante característica a ser explorada nos sensores de contato.

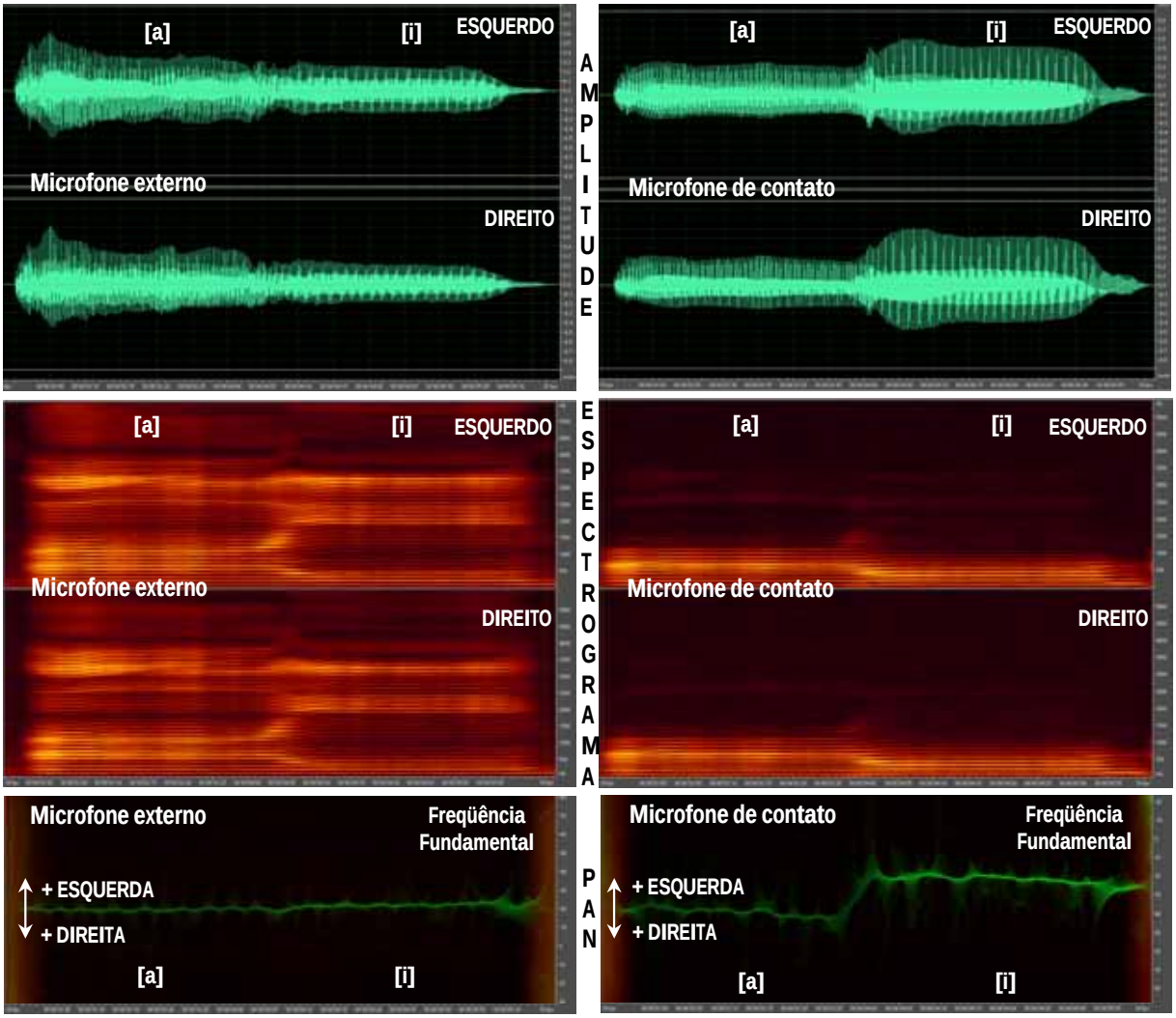


Figura 63: Ditongo [ai] *captado por 4 sensores: 2 externos e 2 de contato. Amplitude: conseqüência dos modos vibracionais, a relação da amplitude da vogal* [i] *para a* [a] *são antagônicas entre externo e contato.* [i] *tem maior envoltória do que* [a] *para o sensor de contato e menos para o externo. Espectrograma: o externo capta freqüências acima de 10 kHz, contato até 1 kHz. Pan: Desloca-se a intensidade do modo vibracional para o microfone do lado bilateral esquerdo quando inicia* [i] *(ao gráfico pan do microfone externo é indiferente à transição do ditongo).*

4.4.2.b Piezoelétrico X Capacitivo: Figura 64 mostra que o sensor piezoelétrico (os dois gráficos à esquerda: resposta em freqüência e espectrograma) responde melhor a altas freqüências que o sensor capacitivo (à direita), para a mesma pronúncia [ai].

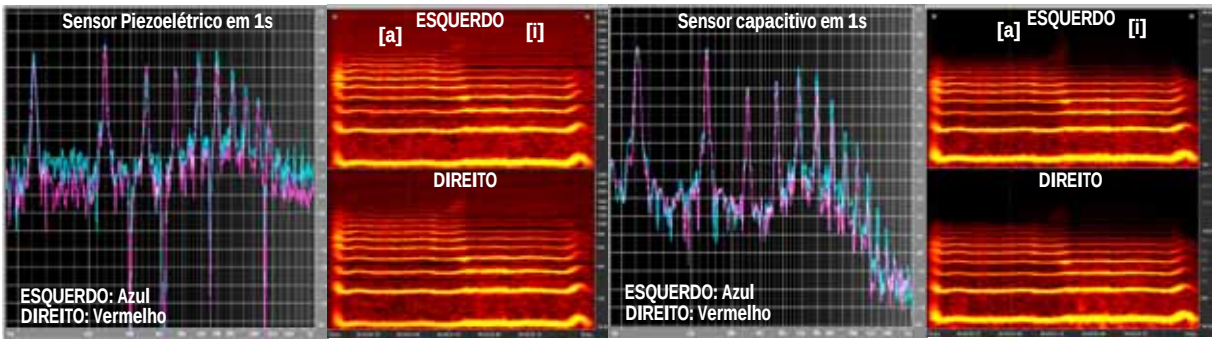


Figura 64: piezo X capacitivo. Resposta em log-freqüência em 1 segundo e log-espectrograma.

Na figura 65 são mostradas os espectros pan das 1ª, 5ª e 7ª harmônicas da freqüência fundamental da voz da mesma pronúncia do ditongo [ai], com sensor piezolétrico à esquerda e capacitivo à direita. Observar o revezamento da amplitude do lado bilateral predominante entre as vogais [a] e [i]. Por exemplo, no pan-amplitude da 5ª harmônica, o lado direito predomina em [a] e o esquerdo em [i]. Na 7ª harmônica, esquerdo em [a] e direito em [i]. Já o pan-fase da 7ª acompanha o formato do pan-amplitude; na 5ª é o inverso. Ambos pares de microfones obtiveram os mesmos resultados, embora o capacitivo é menos susceptível a ruídos do que o piezoelétrico.

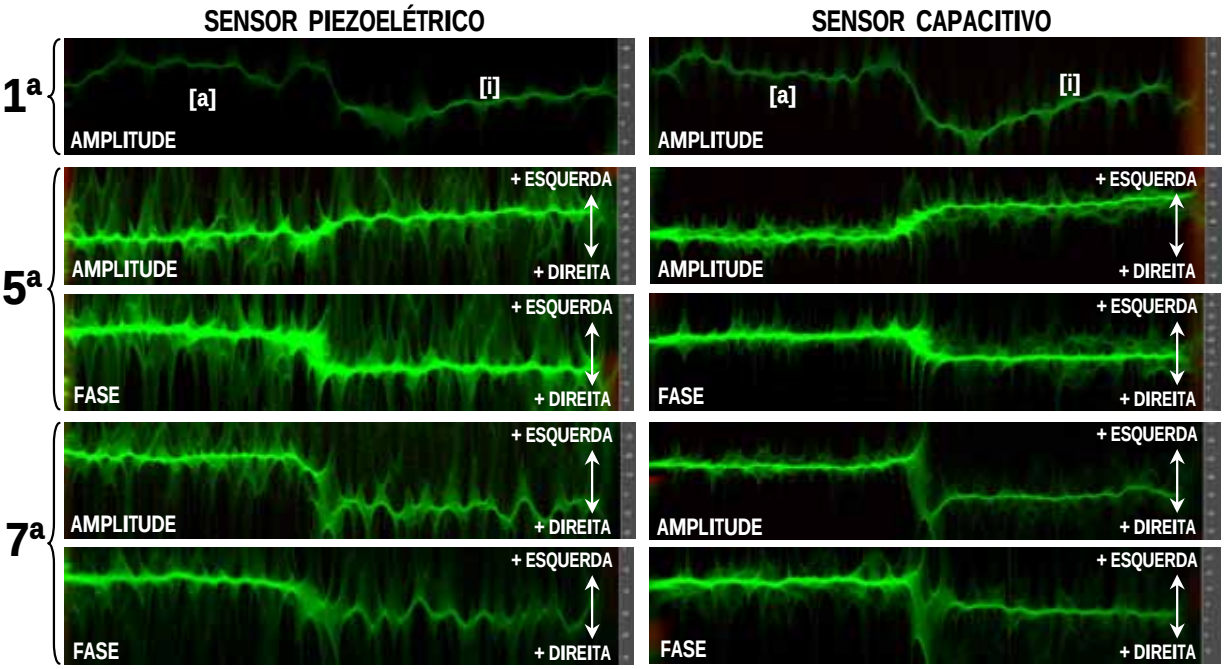


Figura 65: Espectros pan das 1ª, 5ª e 7ª harmônicas da freqüência fundamental do ditongo [ai] *captado por 4 sensores de contato: 2 piezos e 2 capacitivos colocados bilateralmente sobre o músculo masseter. Os gráficos do lado esquerdo são dos sensores piezoelétricos; gráficos do lado direito, capacitivo.*

4.4.3 Longo e Curto-Prazo

A identificação de pessoas por vibrações acústicas divide-se de acordo com o tempo de análise em: longo se envolve transições entre as vogais do ditongo; e curto se desconsidera transições do ditongo e foca variações dentro de uma vogal isolada (não obstante, as janelas para a DT-STFT curto-prazo são suficientemente grandes para incluir componentes espectrais desde 5Hz).

Longo-prazo possui a função de diferenciar o canal esquerdo do direito, já que, específicas a cada pessoa, as harmônicas de amplitude e fase transladam sua energia bilateralmente. Curto-prazo almeja identificar pessoas via composição espectral da variação glotal em pronúncias supostamente de entoação constante.

Ao todo são usados cinco itens de identificação por pessoa: três longo-prazo e dois curto-prazo. A diferença normalizada é intrínseca ao método PB. Durante bilaterismo, subtrai-se como (32) e (33), i.e., a diferença na base de dados é sempre esquerdo menos direito. Na fase de teste, o sistema não sabe qual é canal esquerdo ou direito e aleatoriamente subtrai-se um canal do outro. A identificação surge se a diferença dos canais em teste for coincidente (ou anti-coincidente) com a da base de dados nos três itens longo-prazo simultaneamente. Amplitude e freqüência predominante da composição espectral determinam os dois itens curto-prazo. As seções 4.3.3.a e 4.3.3.b a seguir detalham estes processos.

4.3.3.a Longo-Prazo: são variações da assimetria acústica que ocorrem entre vogais do ditongo. A tabela 9 mostra a relação de amplitude e fase bilateral para as 10 primeiras harmônicas do ditongo [ai] pronunciado por duas pessoas em teste.

Nomenclatura da tabela 9: **"A"** significa que a pronúncia do [a] dentro do ditongo [ai] tem mais energia no canal direito do que [i]. **"I"** é a pronúncia do [i] dentro do ditongo [ai] o canal direito predomina mais do que em [a]. **"-"** indica sem preponderância de canal. Dentro da coluna "Energia": **"i"** significa que a envoltória (V_{pp}) da harmônica de [i] é maior dentro de [ai]; e **"a"** significa que [a] é o maior V_{pp} dentro do ditongo. Em vermelho, a 7ª harmônica, cujos gráficos estão na fig. 66.

	Pessoa 1 Amplitude	Pessoa 1 Fase	Energia Pessoa 1	Pessoa 2 Amplitude	Pessoa 2 Fase	Energia Pessoa 2
1ª harmônica	I	I	i	-	-	i
2ª harmônica	A	-	i	-	I	i
3ª harmônica	I	-	i	I	-	i
4ª harmônica	I	I	i	I	-	i
5ª harmônica	-	-	-	I	A	-
6ª harmônica	I	I	a	I	A	a
7ª harmônica	**I**	**I**	a	**A**	**A**	a
8ª harmônica	I	I	a	A	-	a
9ª harmônica	I	-	a	-	-	a
10ª harmônica	I	A	a	-	A	a

Tabela 9: Variação de relação bilateral de 10 harmônicas da pronúncia [ai] *para duas pessoas.*

Nesta figura 66 observa-se que para a sétima harmônica, a forma de onda mantém-se idêntica nas duas pronúncias, seja amplitude, seja fase; e tanto para pessoa 1 como 2. Porém, o [i] da pessoa 1 tem mais energia no canal direito, e o inverso para pessoa 2.

O exemplo cita duas pessoas, outras pessoas em teste possuem também particularidades que possibilitam identificar o lado bilateral de cada pessoa. O método utiliza três harmônicas das 10 por pessoa, escolhidas visualmente. As três coincidindo, ou sendo exatamente o inverso, identificam o lado bilateral da pessoa.

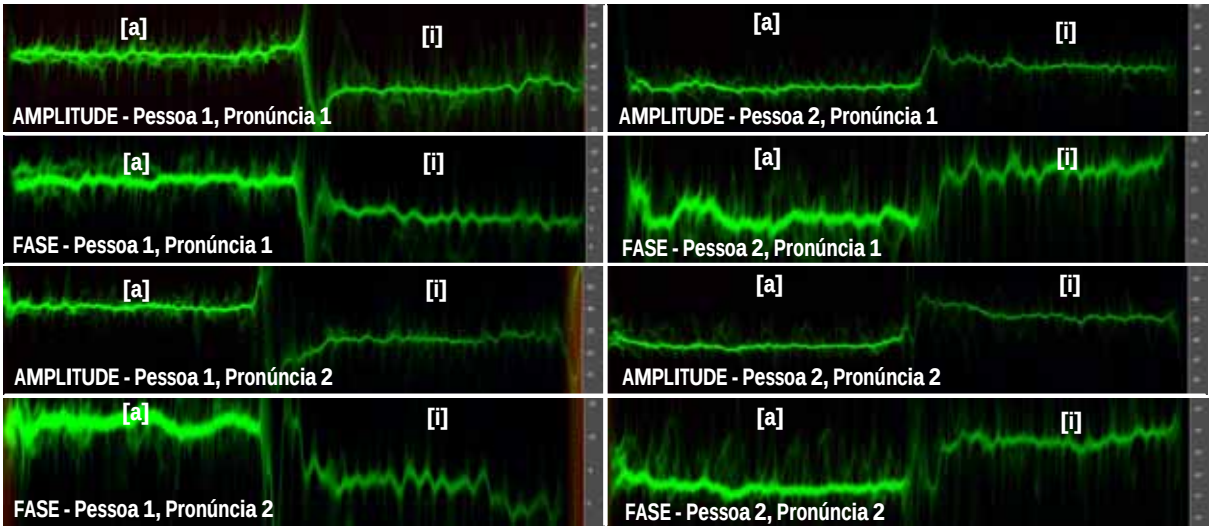


Figura 66: Comportamento antagônico da 7ª harmônica do ditongo [ai] *para a acústica bilateral de 2 pessoas em teste.*

4.4.3.b Curto-Prazo: são variações da assimetria acústica que ocorrem dentro da pronúncia de som vocálico pseudo-uníssono. A principal freqüência e a amplitude de variação das funções pan foram os parâmetros a curto-prazo utilizados para discernir locutores. Os ciclos da velocidade do volume de ar glotal são oriundos de um complexo movimento dobras vocais sob tensão à passagem turbulenta do ar dos pulmões. Mesmo que se queira uma pronúncia uníssona, há muita variação glotal. A figura 67 localiza e ilustra o movimento das cordas vocais e como, através da laringoscopia, o impulso glotal muda até de um ciclo a outro.

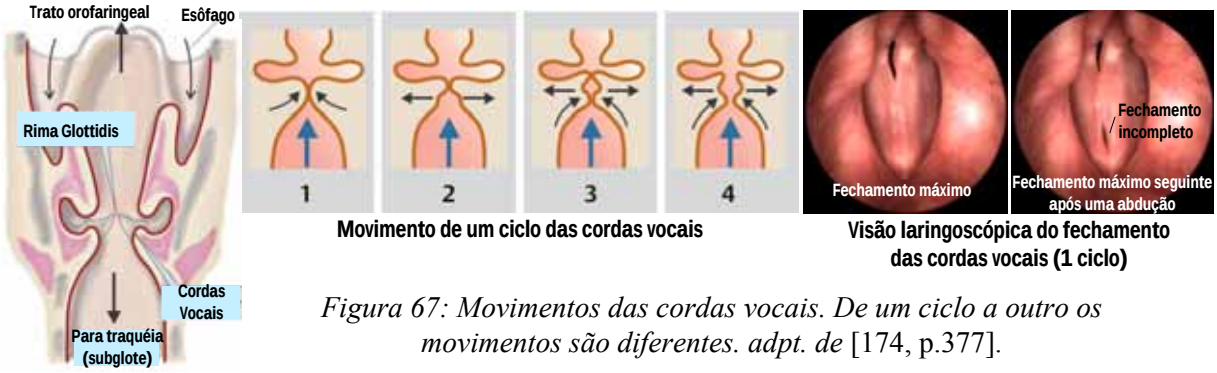


Figura 67: Movimentos das cordas vocais. De um ciclo a outro os movimentos são diferentes. adpt. de [174, p.377].

Microtremores e microflutuações [173] implicam em variações de amplitude, freqüência e fase, como se observa na figura 68. Linhas verticais amarelas indicam vales e picos entre gráficos. Picos e vales dos gráficos pan relacionam-se a diferenças bilaterais da modulação AM do sinal de voz captada pelos sensores. A leve modulação FM dos impulsos glotais também influencia gráficos pan. Outras harmônicas possuem similaridades e particularidades em seus gráficos pan. Isto é, pico acentuado em uma harmônica pode ser mais discreto em outra. Além disso, pico de uma harmônica pode ser vale em outra harmônica.

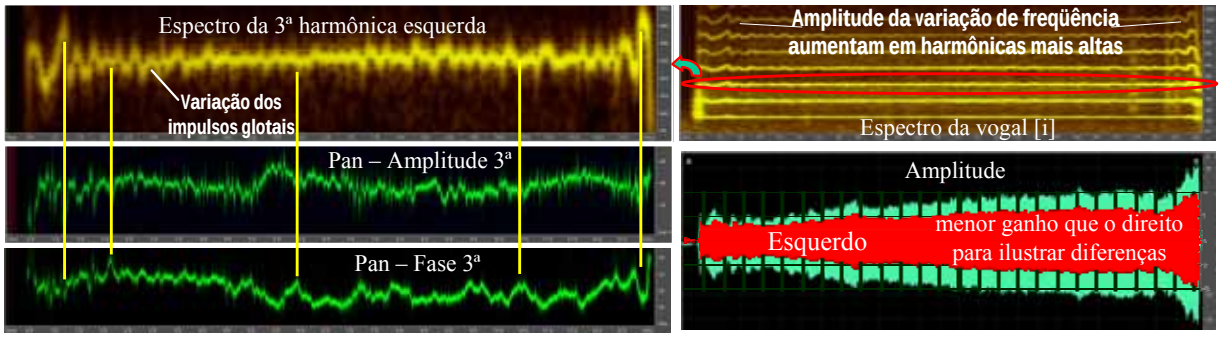


Figura 68: Pronúncia com intenção uníssona da vogal [i] *por 13 segundos. À esquerda: de cima a baixo, gráficos da 3ª harmônica ao longo do tempo de: freqüência, pan-amplitude e pan-fase. À direita: espectrograma da extração da 3ª harmônica, e amplitude do sensor: verde (d) e vermelho (e).*

A assimetria da cavidade ressonante subglotal e otofaringeal associada à inconstância glotal provocam atrasos e atenuações peculiares a cada pessoa, ver figura 69.

O segmento da pronúncia puramente vocálica representada na figura 69 é a quarta harmônica (quatro vezes o *pitch*). Exibe-se duas pronúncias de duas pessoas em teste.

Os gráficos em amarelo são a modulação em freqüência desta harmônica e em rosa a modulação em amplitude da diferença dos canais esquerdo e direito (rosa é o pan-amplitude sem normalização). Gráficos amarelo ou rosa estão sobrepostos aos gráficos pan correspondentes em cor verde.

A pessoa número "1" possui maior variação de freqüência e amplitude do que a pessoa "2" para uma suposta pronúncia constante. Através da análise da composição espectral se obtém a freqüência mais determinante de cada pessoa.

Amplitude e freqüência utilizadas para identificar pessoas foram determinadas manualmente. É importante salientar que este método justifica-se nestas condições:

-o número de pessoas envolvidas é pequeno;

-pessoas orientadas a agir naturalmente. Mímica pode desqualificar resultados.

Pode-se automatizar este processo manual para um maior número de pessoas desde que se inclua toda característica espectral e não apenas a principal freqüência da variação glotal.

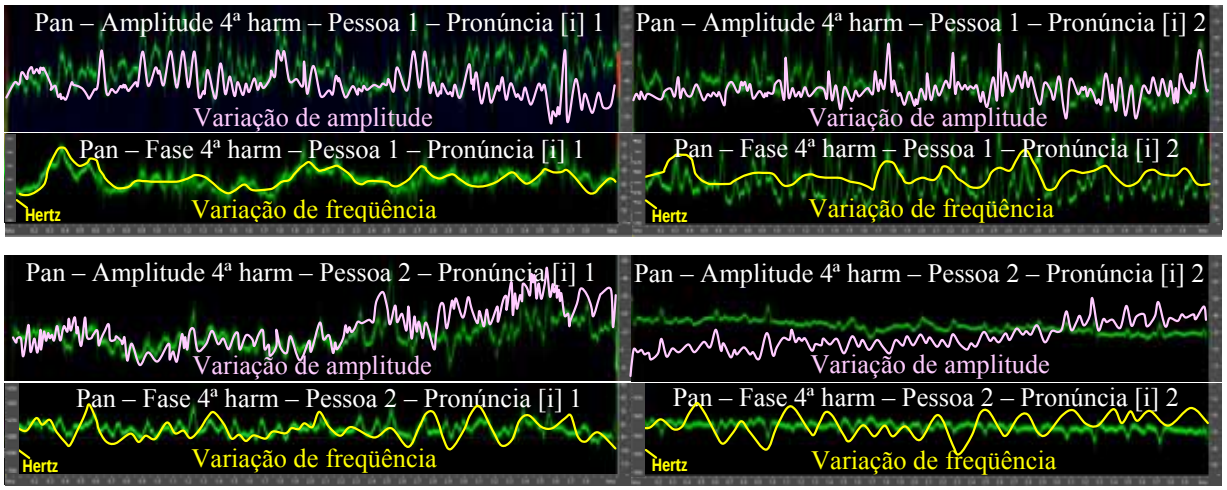


Figura 69: Identificação de pessoas por gráficos pan. Acima estão os gráficos pan (amplitude e fase) de duas pronúncias da vogal [i] *por 4 segundos de duas pessoas.*

4.4.4 Compilação dos Dados dos Métodos PB/sem-PB – Acústico

A tabela 10 compara sem-PB (MFCC + VQ) nas duas colunas à esquerda com PB da coluna à direita (longo + curto-prazo). Como se observa, ao analisar trechos vocálicos dos canais esquerdo e direito de 9 pessoas, a técnica MFCC + VQ conclui corretamente quem os pronunciam, mas considera idênticas as gravações simultâneas bilaterais. O resultado de 44% deve ser considerado apenas como variabilidade estatística, já que à MFCC + VQ, os canais BL são iguais. Como força-se a decisão e esta é binária equiprovável, i.e., o resultado esperado é ao redor de 50%. Obs: pela análise humana também é indiscernível saber se a gravação é da esquerda ou da direita – ao ouvi-las parecem a mesma pronúncia.

Em contraposição, PB analisa as variações a longo e curto-prazo de harmônicas vocálicas, e obtém sucesso ao apontar idiossincrasias nos lados bilaterais. Apesar dos resultados positivos de PB, deve-se considerar:

-Como afirmado em 3.3.3, sensor de contato não é ideal. Além disso, a reprodutibilidade da exata posição e pressão do sensor na pele é difícil.

-MFCC+VQ e PB, apenas para identificar locutores (sem considerar se é canal esquerdo ou direito) tiveram resultados similares, porém é esperado para uma maior população que MFCC+VQ seja superior ao PB.

Provas consubstanciais aqui indicadas corroboram com a potencialidade da análise de modos vibracionais assimétricos durante fonação. Contudo, esforço em pesquisa deve ser despendido (preferentemente na direção de sensores sem contato) para aprofundar a compreensão dos fenômenos aqui relatados.

Biometria Acústica	**Identificação MFCC + VQ (9 pessoas)**	**Identificação MFCC +VQ (18 BL)**	**Processamento Bilateral a Longo e Curto-Prazo**
VOZ	100%	44%	100%

Tabela 10: Identificação PB acústico versus PB não acústico. A técnica MFCC + VQ identifica 100% quem pronuncia os ditongos [ai]*, mas é incapaz de concluir se a origem é do lado esquerdo ou direito. Já o processamento bilateral mostra potencialidade em separar os lados bilaterais.*

4.5 Efeito da Fusão por Ranqueamento

A fusão das biometrias por ranqueamento foi realizada com estas características:

1) Imagens visuais fusionaram apenas pelo método da Correlação. O valor dos γ_{PEAK} entre teste e base de dados de cada segmento ou traço completo indicou a posição (*rank*). Maior valor recebeu *rank* 1; 2º maior, *rank* 2; até o menor valor de γ_{PEAK} que recebeu *rank* 18.

2) O método Wavelet + NN e o método acústico não geraram índices para ranqueamento. Portanto, não houve fusão nestes métodos.

3) O método de contagem foi o de Borda: um ponto para *rank* 1, dois pontos para *rank* 2, assim por diante, até 18 pontos para *rank* 18.

4) A somatória da fusão entre a relação do teste (*t*) com o da base de dados (*b*) ficou:

$$s_{t,b} = \sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} r_{t,b,l,m,n} \tag{44}$$

onde $T=18$ é o máximo de usuários de teste e t é o usuário com $t=1,...,T$. $B=18$ é o máximo de usuários da base e b é o usuário com $b=1,...,B$. $L=6$ é o máximo de classificadores e l é o classificador com $l=1,...,L$. $M=20$ é o máximo de amostras e m é a amostra com $m=1,..., M$. $N=1$ (sem-PB) ou $N=5$ (PB) é o máximo de segmentos e n é o segmento com $n=1,...,N$. $r_{t,b,l,m,n}$ é o *rank* assinalado à relação dos usuários t e b, classificador l, amostra m e segmento n. $s_{t,b}$ é a soma de Borda entre usuários t e b.

5) A somatória de pontos dos seis traços biométricos (acústico não incluído) e seus lados bilaterais gerou uma matriz final 18 x 18 de identificação de $s_{t,b}$. Para um t determinado, o menor valor de $s_{t,b}$ dentre todos os b levou à identificação.

A fusão não alterou os resultados PB, pois este método já havia identificado corretamente lados bilaterais e pessoas sem fusão. Identificação máxima foi obtida também pelo método sem-PB, mostrando que o número elevado de biometrias e base de dados extensa compensam eventuais falhas localizadas.

Capítulo 5 CONCLUSÕES

Resultados práticos aqui expostos ratificaram a importância da assimetria humana no reconhecimento multibiométrico. Coletaram-se dados bilaterais de um número elevado de traços (sete – alguns deles pela 1ª vez em teste biométrico, conforme descritos no capítulo 1) de nove irmãos, com amostras obtidas durante um ano. Concomitantemente, a implementação visou superar desafios biométricos, listados na seção 2.2, através do uso de alta resolução, multialgoritmos, multissensores, não-intrusividade.

O acerto do PB foi 100% nas análises de imagens, enquanto que, sob condições semelhantes, a ausência de processamento bilateral implicou em falhas. Estas falhas só foram compensadas pela capacidade da multibiometria, ao fusionar por ranqueamento os múltiplos traços biométricos.

Análise acústica PB mostrou mesmo potencial, embora sensores de contato sejam intrusivos e sensíveis a variações: pressão, posição, entoação, etc. Sensores de contato acústicos são solução intermediária e avaliativa. O derradeiro objetivo será "visualizar" a voz por varredura em vídeo 3D com análise vibracional (e.g., LDV) – assim que o estado da tecnologia possibilitar.

Trabalhos científicos na área de reconhecimento biométrico ganham eficiência ao considerar a ordem estrutural corpórea, como o Processamento Bilateral aqui introduzido. PB intensifica influências epigenéticas e ambientais, que em caso contrário seriam vilipendiadas.

Este trabalho inaugural sobre assimetria multibiométrica inovou com a introdução da técnica de confronto bilateral de análise anti-holística e de estrutura biognóstica incorporada. A técnica PB pode complementar, contribuir e aprimorar tradicionais técnicas de reconhecimento automático. Enfim, o alcance de aplicação estende-se a toda área biométrica.

Capítulo 6 CONTINUIDADE DO TRABALHO

Há vários caminhos para progredir na análise da assimetria humana no reconhecimento multibiométrico. Frentes de aprofundamento, que recrudescem a consolidação da técnica PB, como: população envolvida, tempo na formação da base de dados, tipos de implementações, aplicação da fusão, refinamento dos sensores, 3D, ambiente computacional, e outras biometrias são analisados a seguir:

População: Utilizaram-se aqui 18 lados bilaterais, dois de cada um dos 9 irmãos. Testes com MZ e população maior (mesmo sem parentesco) são os próximos passos. Embora, como visto em 2.2.2, o tamanho da população pode ser paradoxal.

Tempo: Formação de base de dados de pessoas ao longo de seu envelhecimento traz novos conhecimentos à evolução da assimetria [189-190].

Implementação: PB pode adaptar-se a distintas parametrizações e classificações. Alinhamento entre lados bilaterais é crucial ao método e há espaço para aperfeiçoamento. Segmentações não-homogêneas e específicas de características são superiores às retangulares aqui usadas. Testes sem comparações 1 e 2, como indicados em 3.2.4, devem ser realizados para checar eficácia, além da esperada redução no armazenamento de dados.

Fusão: como visto em 4.5, não foi necessária no presente estudo ao método PB, mas caso performance comece a diminuir com condições mais severas, métodos simples, como *rank* e voto da maioria, podem ser aplicados para garantir o reconhecimento.

Sensores: A constante evolução tecnológica proporciona melhores sensores biofísicos e assim, nuanças assimétricas são mais facilmente captadas. Sem superdimensionalidade e redundâncias, a performance de reconhecedores melhora com mais resolução, maior fusão de evidências biométricas e maior quantidade de tipos de sensores utilizados.

Três Dimensões: A passagem 2D → 3D é bem-vinda a qualquer análise biométrica. Diferenças entre lados bilaterais são volumétricas e apresentam mais dados biométricos do que a projeção 2D em um plano. Pontos negativos a serem superados são resolução inferior à 2D e dificuldades operacionais (e.g., evitar *motion blur*) [191-192].

Automatização: Algumas atividades do Processamento Bilateral Acústico foram determinadas manualmente, como indicado na seção 4.4. A automatização destas atividades é fundamental no caso de maior população envolvida.

Ambiente: O ambiente computacional utilizado, principalmente devido à quantidade de memória e à capacidade de processamento (ver tabela 6), foi compatível ao tamanho de arquivos de imagem após a redução da dimensionalidade, e como esperado, incompatível a manipular arquivos originais dos sensores. Isto é, desenvolveram-se técnicas de ênfase nas diferenças dos traços biométricos mais discrepantes que permitiram a manipulação de arquivos menores, sendo estes coadunáveis com a memória e capacidade de processamento especificados. Não obstante, é variável de compromisso do projeto de um sistema biométrico a contínua evolução de sistemas computacionais adequar-se à contínua evolução da densidade de pixels dos sensores utilizados.

Outras Biometrias: Qualquer biometria pode ser examinada bilateralmente. O uso de outros tipos de sensores biofísicos, que não vibracionais, visíveis ou térmicos, podem reforçar as conclusões aqui encontradas ao buscar desbalanceamentos bilaterais em:

-composição química de odores [193] e fluidos, internos ou externos;

-imageamento da estrutura corpórea interna (ultra-som, raio-x, MRI, etc.);

-emissões bioeletromagnéticas (e.g., EEG, bioluminescência, etc.);

-impulsos otoacústicos;

-vídeos comportamentais (*gait*, tiques, assinatura ambidestra, etc.).

Capítulo 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Afirmações sobre a unicidade das assimetrias biométricas são encontradas em vários estudos, mas estas restringem-se ao traço monobiométrico em análise. Esta tese buscou unificar observações e enfatizar que singularidades assimétricas não são privilégios de traços específicos. Valem para todo o corpo humano já que o conceito da singularidade da assimetria pode ser comprovado por qualquer pessoa diante do espelho, ao notar que nada é exatamente igual. Apesar de óbvio, não é um conceito arraigado em meios acadêmicos, principalmente fora das áreas biológicas – onde o mito da perfeita simetria persiste, apenas quebrado por esporádicos contra-exemplos.

A biologia indica que *"qualquer parte do corpo humano possui eixo de simetria"*, e.g., radial, esférico, bilateral ou helicoidal. Seja DNA, seja célula, seja alguma parte macroscópica. Mesmo órgãos geograficamente assimétricos, e.g., coração, sistema digestivo (intestinos, pâncreas, etc.) possuem eixos de simetria. Ordem estrutural expressa-se por simetria. Mas, como a presente análise enfatiza, a ordem não é perfeita. A frase acima, melhor rescrita, transforma-se em: *"qualquer parte do corpo humano possui eixo de quase-simetria"*.

Ordem e desordem corpóreas são biométricas. Este estudo procurou separá-las e focar apenas idiossincrasias entre os lados bilaterais. Imperfeições da simetria significam negentropia decrescente, crescem com a idade e permanecem no corpo como um histórico das instabilidades. Em suma, representam enorme potencial biométrico por serem aleatórias e não dependentes do código genético.

Evidentemente, lados bilaterais são partes integrantes e indissolúveis da mesma pessoa. Não obstante, o mecanismo aqui introduzido de transfigurar a dicotomia bilateral em genuína versus impostora, i.e., o lado bilateral oposto como se fosse de outro indivíduo, traz vantagens: introduz o conceito de comparação contemporânea, realça influência epigenética e ambiental, dobra o *match* a pares de *templates* ortogonais, transpõe a um novo espaço mais robusto, e reduz dimensionalidade.

O mundo real impõe detrimentos, e.g., ruído, burladores, etc. Implementações monobiométricas que consideram assimetrias sofrem do mesmo mal de implementações que desprezam assimetria: qualquer *blur* e o resultado está comprometido. Além disso, assimetrias podem ser temporárias, assim biometricamente falíveis. Rigoroso controle da qualidade do sinal do sensor é vital. Somente a multibiometria com número elevado de traços permite o descarte, seja de temporárias, seja de detrimentos, mantendo a estabilidade estatística do reconhecedor.

O método aqui desenvolvido, e realizado na máquina PB ao isolar partes relevantes da estrutura humana, só foi consubstanciado pela compreensão da tríade: genética, epigenética e influências ambientais. Aplicação tal que evita métodos de reconhecimento genéricos e aplicáveis a estruturas amorfas para se compatibilizar ao universo biológico, complexo, porém, delineável.

REFERÊNCIAS

[1] HARGITTAI, M.; HARGITTAI, I. **Visual Symmetry**. Singapore: World Scientific, 2009. 209 p.

[2] ZAIDEL, D. W.; HESSAMIAN, M. Asymmetry and symmetry in the beauty of human faces. **Symmetry**, n. 2, p. 136-149, 2010.

[3] GRAHAM, J. H.; RAZ, S.; HEL-OR, H.; NEVO, E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. **Symmetry**, n. 2, p. 466-540, 2010.

[4] IANNARELLI, A. **Ear Identification**. Freemont: Paramount Publishing Company. 1989.

[5] CHAMPOD, C. et al. **Fingerprints and other Ridge Skin Impressions**. CRC, 2004. 283 p.

[6] KOMARINSKI, P. et al. **Automated Fingerprint Identification Systems.** Boca Raton: Academic Press, 2005. 295 p.

[7] LEE, H. C; GAENSSLEN, R. E. (Eds.). **Advances in Fingerprint Technology**. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 2001. 425 p.

[8] MALTONI, D. et al. **Handbook of Fingerprint Recognition**. 2nd ed. London: Springer, 2009. 494 p.

[9] RATHA, N.; BOLLE, R. (Eds.). **Automatic Fingerprint Recognition Systems**. New York: Springer, 2004. 458 p.

[10] WILSON, C. **Vein Pattern Recognition**. A Privacy-Enhancing Biometric. Boca Raton: CRC, 2010. 248 p.

[11] ZHANG, D. D. **Palmprint Authentication**. Boston: Kluwer, 2004. 241 p.

[12] DOSHI, S.; HARVEY, W. (Eds.). **Investigative Techniques and Ocular Examination.** Spain: Elsevier, 2003. 165 p.

[13] GUO, G. **Face Expression and Iris Recognition**. Tese de Doutorado – University of Wiscosin-Madison, 2006. 116 p.

[14] MARTINS, J. C.; SOUZA, L. A. **Bioelectronic Vision Retina Models, Evaluation Metrics and System Design.** Singapore: World Scientific, 2009. 246 p.

[15] ROY, K.; BHATTACHARYA, P. **Iris Recognition: A Machine Learning Approach**. Verlag, 2008. 156 p.

[16] HAMMOUD, R. I.; ABIDI, B. R.; ABIDI, M. A. (Eds.). **Face Biometrics for Personal Identification Multi-Sensory Multi-modal Systems**. Berlin: Springer, 2007. 275 p.

[17] BROWN, T. A. **Gene Cloning & DNA Analysis –** an Introduction. 6th ed. Malaysia: Wiley-Blackwell, 2010. 320 p.

[18] BUTLER, J. M. **Forensic DNA Typing** – Biology Technology and Genetics of STR Markers**,** 2nd ed. New York: Elsevier, 2005. 660 p.

[19] BUTLER, J. M. **Fundamentals of Forensic DNA Typing**. New York: AP, 2010. 500 p.

[20] CALLADINE, C. R. et al. **Understanding DNA –** The Molecule and How It Works. 3rd ed. Rome: Elsevier, 2004. 334 p.

[21] ESTELLER, M. (Ed.). **DNA Methylation Approaches & Applications**. Boca Raton: CRC, 2005. 212 p.

[22] FRUDAKIS, A. **Molecular Photofitting Predicting Ancestry and Phenotype Using DNA.** London: Elsevier, 2008. 695 p.

[23] BHANU, B.; CHEN, H. **Human Ear Recognition by Computer**. London: Springer, 2008. 200 p. (Advances in Pattern Recognition Series).

[24] BRUNELLI, R. **Template Matching Techniques in Computer Vision** – Theory and Practice. Chichester: Wiley, 2009. 338 p.

[25] CHACON, M. I. (Ed.). **State of the Art in Face Recognition**. Vienna: In-tech, 2009. 250 p.

[26] COLMENAREZ, A. J.; XIONG, Z.; HUANG, T. S. **Facial Analysis from Continuous Video with Applications to Human Computer**. Boston: Kluwer, 2004. 134 p.

[27] DELAC, K.; GCGIC, M. (Eds.). **Face Recognition**. Vienna: I-Tech, 2007. 558 p.

[28] DELAC, K.; GRGIC, M.; BARTLETT, M. S. (Eds.). **Recent Advances in Face Recognition**. Vienna: I-Tech, 2008. 236 p.

[29] GONG, S.; MCKENNA, S. J.; PSARROU, A. **Dynamics Vision** – from Vision to Face Recognition. London: Imperial College Press, 2000. 344 p.

[30] KIM, D.; SUNG, J. **Automated Face Analysis** – Emerging Technologies and Research. London: Information Science Reference, 2009. 437 p.

[31] LI, S. Z.; JAIN, A. K. (Eds.). **Handbook Of Face Recognition**. New York: Springer, 2005. 395 p.

[32] WEN, Z.; HUANG, T. S. **3D Face Processing –** Modeling, Analysis and Synthesis. Boston: Kluwer, 2004. 137 p. (Kluwer International Series in Video Computing).

[33] ZHAO, W.; CHELLAPPA, R. (Eds.). **Face Processing** – Advanced Modeling and Methods. London: Elsevier, 2006. 738 p.

[34] ZHOU, S. K.; CHELLAPPA, R.; ZHAO, W. **Unconstrained Face Recognition.** New York: Springer, 2006. 244 p. (International Series on Biometrics).

[35] WECHSLER, H. **Reliable Face Recognition Methods:** System Design, Implementation and Evaluation. New York: Springer, 2006. 342 p.

[36] NIXON, M. S.; TAN, T.; CHELLAPPA, R. **Human Identification based on Gait**. New York: Springer, 2005. 197 p.

[37] VAUGHAM, C. L.; DAVIS, B. L.; O'CONNOR, J. C. **Dynamics of Human Gait**. 2nd ed. Cape Town: Kiboho, 1999. 141 p.

[38] WHITTLE, M. W. **An Introduction to Gait Analysis**. 4th ed. Philadelphia: Elsevier, 2007. 255 p.

[39] BEIGI, H. **Fundamentals of Speaker Recognition**. New York: Springer, 2011. 720 p.

[40] CHOU, W.; JUANG, B. H. (Eds.) **Pattern Recognition in Speech and Language Processing.** Boca Raton: CRC, 2003. 385 p.

[41] KESHET, J.; BENGIO, S. (Eds.). **Automatic Speech and Speaker Recognition.** Chichester: Wiley, 2009. 253 p.

[42] LIEW, A. W. C.; WANG, S. **Visual Speech Recognition.** London: Medical Information Science Reference, 2008. 548 p.

[43] MÜLLER, C. (Ed.). **Speaker Classification I** – Fundamentals, Features, and Methods. Berlin: Springer, 2007. 353 p.

[44] MÜLLER, C. (Ed.). **Speaker Classification II** – Selected Projects. Berlin: Springer, 2007. 307 p.

[45] ROSE, P. **Forensic Speaker Identification**. London: Taylor & Francis 2002.

[46] HUBER, R. A.; HEADRICK, A. M. **Handwriting Identification Facts & Fundamentals**. Boca Raton: CRC Press, 1999.

[47] VIELHAUER, C. **Biometric User Authentication for IT Security** – from Fundamentals to Handwriting. New York: Springer, 2006. 284 p.

[48] ALEKSIC, S.; KATSAGGELOS, K. Audio-visual biometrics. **Proc. IEEE**, v. 94, n. 11, p. 2025-2044, Nov. 2006.

[49] JAIN, A. K.; FLYNN, P.; ROSS, A. A. (Eds.). **Handbook of Biometrics**. New York: Springer, 2008. 556 p.

[50] RATHA, N. K.; SENIOR, A. W.; BOLLE, R. M. Automated biometrics. In: INT. CONF. ADVANCES PATTERN RECOGNITION, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings**, p. 445-474, 2001.

[51] IBG, **Biometrics Market and Industry Report 2009-2014.** 2008.

[52] NAÏT-ALI, A. (Ed.). **Advanced Biosignal Processing.** Berlin: Springer, 2009. 378 p.

[53] BOULGOURIS, N. V.; PLATANIOTIS, K. N.; TZANAKOU, E. M. (Eds.). **Biometrics** – Theories, Methods and Applications. Hoboken (NJ): Wiley, 2010. 745 p.

[54] BOURIDANE, A. **Imaging for Forensics and Security** – from Theory to Practice. New York: Springer, 2009. 209 p. (Springer Series on Signals and Communication Technology).

[55] CHELLAPPA, R.; ROY-CHOWDHURY, A. K.; ZHOU, S. K. **Recognition of Humans and their Activities using Video.** Morgan et Claypool, 2005. 173 p.

[56] DELACRETAZ, D. P.; CHOLLET, G.; DORIZZI, B. (Eds.). **Guide to biometric reference and performance evaluation**. London: Springer, 2009. 390 p.

[57] DUBE, R. R. **Hardware-Based Computer Security Tech to Defeat Hackers** – From Biometrics to Quantum Cryptography. Hoboken (NJ): Wiley, 2008. 227 p.

[58] DUNSTONE, T.; YAGER, N. **Biometric System and Data Analysis Design Evaluation and Data Mining.** New York: Springer, 2009. 267 p.

[59] GREGORY, P.; SIMON, M. A. **Biometrics for Dummies**. Hoboken (NJ): Wiley, 2008. 292 p.

[60] JAIN, A.K. et al. (Eds.). **Biometrics** – Personal Identification in Networked Society. New York: Kluwer, 2002. 411 p. (The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science).

[61] KRAISS, K. F. (Ed.). **Advanced Man-Machine Interaction**. Berlin: Springer, 2006. 461 p.

[62] KUMAR, A.; ZHANG, D. (Eds.). Ethics and Policy of Biometrics. In: 3RD INT. CONF. on ETHICS and POLICY of BIOMETRICS and INT. DATA SHARING. **Proceedings**. Berlin: Springer, 2010. 168 p. (Lectures Notes in Computer Science).

[63] LI, S. Z. (Ed.) ; JAIN, A. K. (Editorial Advisor) **Encyclopedia of Biometrics**. New York: Springer, 2009. 1433 p.

[64] NANAVATI, S.; THIEME, M.; NANAVATI, R. **Biometrics** – Identity Verification in a Networked World. New York: Wiley, 2002. 300 p.

[65] PEJAS, J.; PIEGAT, A. (Eds.). **Enhanced Methods in Computer Security Biometric and Artificial Intelligence**. New York: Springer, 2005. 396 p.

[66] RANGAYYAN, R. M. **Biomedical Signal Analysis.** New York: Wiley, 2002. 508 p.

[67] RATHA, N. K.; GOVINDARAJU, V. **Advances in Biometrics** – Sensors Algorithms Systems. London: Springer, 2007. 503 p.

[68] REID, P. **Biometrics for Network Security**. New Jersey: Prentice, 2003. 288 p. (Prentice Hall PTR Series in Computer Networking and Distributed Systems).

[69] REVETT, K. **Behavioral Biometrics:** A Remote Access Approach. Chichester: Wiley, 2008. 244 p.

[70] RULE, J. B.; GREENLEAF, G. (Eds.). **Global Privacy Protection** – the First Generation. Cheltenham (UK): Edward Elgar, 2008. 318 p.

[71] SAEED, K.; PEJAŚ, J.; MOSDORF, R. (Eds.). **Biometrics, Computer Security Systems and Artificial Intelligence Applications**. New York: Springer, 2006. 342 p.

[72] SANDERSON, C. **Biometric Person Recognition: Face, Speech and Fusion.** Verlag, 2008. 156 p.

[73] SARFRAZ, M. (Ed.). **Computer Aided Intelligent Recognition Techniques and Applications**. Chichester: Wiley, 2005. 497 p.

[74] SCHUCKERS, M. E. **Computational Methods in Biometric Authentication**. London: Springer, 2010. 317 p.

[75] SHONIREGUN, C. A.; CROSIER S. **Securing Biometrics Applications**. New York: Springer, 2008. 189 p.

[76] TISTARELLI, M.; LI, S. Z.; CHELLAPPA, R. (Eds.). **Handbook of Remote Biometrics for Surveillance and Security**. London: Springer, 2009. 381 p.

[77] TUYLS, P.; ŠKORIĆ, B.; KEVENAAR, T. (Eds.). **Security with Noisy Data on Private Biometrics, Secure Key Storage and Anti-Counterfeiting**. London: Springer, 2007. 339 p.

[78] WANG, L.; GENG, X. (Eds.). **Behavioral Biometrics for Human Identification**. Hershey (PA): Medical Information Science Reference, 2010. 505 p.

[79] WAYMAN, J. et al. (Eds.). **Biometric Systems** – Technology Design and Performance Evaluation. London: Springer, 2005. 370 p.

[80] WOODWARD Jr., J. D.; ORLANS, N. M.; HIGGINS, P. T. **Biometrics.** New York: McGraw Hill, 2003. 432 p.

[81] YANUSHKEVICH, S. N. et al. **Biometric Inverse Problems**. Boca Raton: CRC, 2005. 386 p.

[82] ZHANG, D.; JING, X.; YANG, J. **Biometric Image Discrimination Technologies**. Hershey: Idea, 2006. 358 p.

[83] ZHANG, D.; JAIN, A. K. (Eds.). **Biometric Authentication** – First International Conference, ICBA 2004, Hong Kong, China, July 15-17, 2004. Proceedings. Berlin: Springer, 2004. 800 p. (Lectures Notes in Computer Science).

[84] ZHANG, D. (Ed.). **Medical Biometrics** – First International Conference, ICMB 2008 Hong Kong, China, January 4-5, 2008. Proceedings. Berlin: Springer, 2007. 324 p. (Lecture Notes in Computer Science)

[85] BHANU, B.; GOVINDARAJU, V. **Multibiometrics for Human Identification.** Cambridge University Press, 2011. 448 p.

[86] ROSS, A. A.; NANDAKUMAR, K.; JAIN, A. K. **Handbook of Multibiometrics**. New York: Springer, 2006. 198 p. (International Series on Biometrics).

[87] KRISHNAIAH, P. R.; KANAL, L. N. **Handbook of Statistics Classification Pattern Recognition and Reduction of Dimensionality**. North Holland, Amsterdam: Elsevier, 1982. 903 p.

[88] BRUDER, C. E. G. et al. Phenotypically concordant and discordant monozygotic twins display different DNA copy-number-variation profiles. **Am. J. Hum. Genet.**, v. 82, p. 763-771, Mar. 2008.

[89] BLICKSTEIN, I.; KEITH, L.G. (Eds.). **Multiple Pregnancy –** Epidemiology, Gestation & Perinatal Outcome. 2nd ed. Informa, 2006. 943 p.

[90] SENIOR, A. (Ed.). **Protecting Privacy in Video Surveillance**. London: Springer, 2009. 205 p.

[91] MAK, S. Ethical values for e-society: information, security and privacy. In: ETHICS AND POLICY OF BIOMETRICS, 3rd Int. Conf. on Ethics and Policy of Biometrics and Int. Data Sharing (ICEB 2010), Hong Kong, Jan. 2010. Kumar, A.; Zhang, D. (Eds). **Proceedings**. Berlin: Springer, 2010, p. 96-101.

[92] PAPOULIS, A. **Probability Random Variables and Stochastic Processes**. 3rd ed. New York: McGraw Hill, 1991. 666 p.

[93] PHAM, H. (Ed.). **Handbook of Engineering Statistics**. London: Springer, 2006. 1120 p.

[94] YANUSHKEVICH, S. N. et al. **Image Pattern Recognition Synthesis and Analysis in Biometrics**. Singapore: World Scientific, 2007. 430 p. (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence).

[95] ZHANG, D. et al. **Advanced Pattern Recognition Technologies with Applications to Biometrics**. Hershey: Medical Information Science Reference, 2009. 368 p.

[96] MINSKY, M. Logical versus analogical or symbolic versus connectionist or neat versus scruffy. **AI Magazine**, v. 12, n. 2, p. 34-51, 1991.

[97] BUNKE, H.; KANDEL, A. (Eds.). **Hybrid Methods in Pattern Recognition.** Singapore: World Scientific, 2002. 324 p. (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence).

[98] YAGER, N.; DUNSTONE, T. The biometric menagerie. **IEEE Trans. on Patt. Analysis and Machine Intellig.,** v. 32, n. 2, p. 220-230, Feb. 2010.

[99] HONG, L.; JAIN, A. K.; PANKANTI, S. Can multibiometrics improve performance? In: IEEE WORKSHOP ON AUTOMATIC IDENTIFICATION ADVANCED TECHNOLOGIES, New Jersey. **Proceedings**, p. 59-64, 1999.

[100] ARIEW, R. **Leibniz and Clarke** – Correspondence. Indianapolis: Hackett, 2000. 110 p.

[101] SAVILE, A. **Routledge Philosophy Guidebook to Leibniz and the Monadology**. London: Routledge, 2000. 248 p.

[102] TWIN TOWN. Director: Paul Nelson, Producer: Paul Nelson, Brent Baker e Daniel Fenton. Produced by Zig-Zag Productions for National Geographic Channel, 2010, 45min 48s.

[103] MULLER, S. J. **Asymmetry: The Foundation of Information**. Berlin: Springer, 2007. 165 p. (The Frontiers Collection).

[104] BEN-NAIM, A. **Entropy Demystified**. Singapore: World Scientific, 2008. 223 p.

[105] BEN-NAIM, A. **A Farewell to Entropy** – Statistical Thermodynamics Based on Information. Singapore: World Scientific, 2008. 384 p.

[106] BLOMBERG, C. **Physics of Life** – The Physicist's Road to Biology. Amsterdam: Elsevier, 2007. 426 p.

[107] CERCIGNANI, C. **Ludwig Boltzmann, The Man Who Trusted Atoms**. Oxford, 1998. 329 p.

[108] DUGDALE, J. S. **Entropy And Its Physical Meaning**. London: Taylor & Francis, 1998. 198 p.

[109] SCHRÖDINGER, E. **What is Life?** – the Physical Aspect of the Living Cell. Cambridge University Press, 1944. 184 p.

[110] MAINZER, K. **Symmetry And Complexity** – The Spirit And Beauty Of Nonlinear Science. Singapore: World Scientific, 2005. 437 p. (World Scientific Series on Nonlinear Science).

[111] HERSHEY, D. **Entropy Theory of Aging Systems: Humans, Corporations and the Universe**, London: Imperial College Press, 2010. 264 p.

[112] LÓPEZ-GRACIA, M. L.; ROS, M. A. **Left-Right Asymmetry in Vertebrate Development.** Berlin: Springer, 2007. 126 p. (Advances in Anatomy Embriology and Cell Biology).

[113] ROSEN, J. **Symmetry Rules** – How Science and Nature are founded on Symmetry. Berlin: Springer, 2008. 304 p. (The Frontiers Collection).

[114] MØLLER, A. P.; SWADDLE, J. P. **Asymmetry, Developmental Stability, and Evolution.** New York: Oxford University Press, 1997. 291 p.

[115] LEAMY, L. J.; KLINGENBERG, C. P. The genetics and evolution of fluctuating asymmetry. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, vol. 36, p. 1-21, Dec. 2005.

[116] QUINTERO, R.A. (Ed.). **Twin-Twin Transfusion Syndrome**. London: Informa, 2007. 201 p.

[117] ZWIJNENBURG, P. J. G.; MEIJERS-HEIJBOER H. E. J.; BOOMSMA D. I. Identical but not the same: the value of discordant monozygotic twins in genetic research. **Am. J. Med. Genet.,** Part B, 153B, p. 1134-1149, 2010.

[118] FRAGA, M. F. et al. Epigenetic differences arise during the lifetime of monozygotic twins. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 102, n. 30, p. 10604-10609, 2005.

[119] JAIN, A. K.; PRABHAKAR, S.; PANKANTI, S. On the similarity of identical twin fingerprints. **Pattern Recognition**, v. 35, n. 11, p. 2653-2662, 2002.

[120] SUN, Z. et al. A Study of Multibiometric Traits of Identical Twins. In: SPIE DEFENSE, SECURITY and SENSING: Biometric Technology for Human Identification, **Proceedings**, p. 1-12, 2010.

121] LANDY, H. J.; KEITH, L. G. The vanishing twin: a review. **Human Reproduction Update, European Society for Human Reproduction and Embryology**, v. 4, n. 2, p. 177-183, 1998.

[122] PARK, U.; JAIN, A. K. Face matching and retrieval using soft biometrics. **IEEE Trans. on Information Forensics and Security** (TIFS), v. 5, n. 3, p. 406-415. Nov. 2010.

[123] YANG, Q.; DING, X. Symmetrical PCA in face recognition. **IEEE ICIP**, p. 97-100, 2002.

[124] YANG, J.; LIU, C. Horizontal and vertical 2DPCA-based discriminant analysis for face verification on a large-scale database. **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, v. 2, n. 4, p. 781-792, Dez. 2007.

[125] ABAZA, A.; ROSS, A. Towards understanding the symmetry of human ears: a biometric perspective. In: 4TH IEEE INT. CONF. ON BIOMETRICS: Theory Applications and Systems (BTAS 2010). **Proceedings**. Washington, DC, Sept. 2010, p. 1-7.

[126] GUTTA, S.; WECHSLER, H. Face recognition using asymmetric faces. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE, ICBA 2004, Hong Kong, China, July 2004. Zhang, D.; Jain, A.K. (Eds.). **Proceedings**, v. 3072, p. 162-168, 2004. (Lecture Notes in Computer Science on Biometric Authentication).

[127] KOMPANETS, L. Biometrics of asymmetrical face. In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE, ICBA 2004, Hong Kong, China, July 2004, Zhang, D.; Jain, A. K. (Eds.). **Proceedings**, v. 3072, p. 67-73, 2004. (Lecture Notes in Computer Science on Biometric Authentication).

[128] KOMPANETS, L. Facial composites, ophthalmic geometry pattern, and based on stated phenomena the test of person/personality liveness. In: 7TH INT. CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS. IEEE Computer Society. **Proceedings**, p. 831-836, 2007.

[129] LIU, Y. et al. Facial asymmetry: A new biometric. **Technical Report CMU-RI-TR-01-23**, Carnegie Mellon University, p. 1-20, 2001.

[130] LIU, Y. et al. Facial asymmetry quantification for expression invariant human identification. **Computer Vision and Image Understanding,** v. 91, p. 138-159, 2003.

[131] LIU, Y.; MITRA, S. Experiments with quantified facial asymmetry for human identification. **CMU-RI-TR-02-24,** Carnegie Mellon, p. 1-31, 2002.

[132] LIU, Y.; MITRA, S. Human identification versus expression classification via bagging on facial asymmetry. **Technical Report CMU-RI-TR-03-1**. The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, p. 1-18, 2003.

[133] LIU, Y.; PALMER, J. A quantified study of facial asymmetry in 3D faces. In: IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP on ANALYSIS and MODELING of FACES and GESTURES (AMFG'03). **Proceedings**, p. 1-8, 2003.

[134] MITRA, S.; SAVVIDES, M. Analyzing asymmetry biometric in the frequency domain for face recognition. In: ICASSP 2005, p. 953-956, 2005.

[135] YAN, P.; BOWYER, K. Empirical Evaluation of Advanced Ear Biometrics. In: IEEE COMPUTER VISION and PATTERN RECOGNITION (CVPR), **Proceedings**, v. 3, Washington - DC, p. 41-48, 2005.

[136] VERTAMATTI, R.; ARJONA RAMÍREZ, M. Human Asymmetry in Multibiometric Recognition. In: IEEE WORKSHOP ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN BIOMETRICS AND IDENTITY MANAGEMENT CIBIM 2011, Session on "New and non-conventional Biometrics: Algorithms, Methods and Systems", 2011, Paris. **Proc. of IEEE Workshop on Computational Intelligence in Biometrics and Identity Management.** CIBIM 2011. New Jersey: IEEE Press, p. 70-77, 2011.

[137] VERTAMATTI, R.; ARJONA RAMÍREZ, M. A New Method to Improve Multibiometric Recognition. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TELECOMMUNICATIONS, 2011, Rio de Janeiro. **Proceedings of the International Workshop on Telecommunications.** IWT 2011. Santa Rita do Sapucaí: Instituto Nacional de Telecomunicações, p. 31-34, 2011.

[138] ZHU, Z.; HUANG, T. S. (Eds.). **Multimodal Surveillance: Sensors, Algorithms and Systems.** Artech House, 2007. 448 p.

[139] EID, E. S. Study of Limitations on Pixel Size of very High Resolution Image Sensors. In: 18TH NATIONAL RADIO SCIENCE CONFERENCE, 27-29 March, 2001. **Proceedings**. Mansoura Univ., Egypt, p. 15-28, 2001

[140] BAHNU, B.; PAVILIDIS, I. **Computer Vision Beyond the Visible Spectrum**. London: Springer, 2005. 319 p. (Springer Series on Advances in Pattern Recognition).

[141] BURNS, D. A.; CIURCZAK, E.W. **Handbook near infrared analysis**. 2nd ed. New York: Dekker, 2001. 814 p. (Practical Spectroscopy Series).

[142] DIAKIDES, N. A.; BRONZINO, J. D. **Medical Infrared Imaging**. Boca Raton: CRC, 2008. 451 p.

[143] WILLIAMS, T. L. **Thermal Imaging Cameras** – Characteristics and Performance. Boca Raton: CRC, 2009. 212 p.

[144] HAMMOUD, R. I. **Augmented Vision Perception in Infrared** – Algorithms and Applied Systems. London: Springer, 2009. 471 p. (Advances in Pattern Recognition).

[145] ANDRÉ, M. P. (Ed.). **Acoustical Imaging.** In: 28TH INT. ACOUSTICAL IMAGING SYMP. **Proceedings**. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. 477 p.

[146] AZHARI, H. **Basics of Biomedical Ultrasound for Engineers**. Hoboken (NJ): Wiley, 2010. 371 p.

[147] BENESTY, J.; CHEN, J.; HUANG, Y. **Microphone Array Signal Processing**. Berlin: Springer, 2008. 240 p. (Springer Topics in Signal Processing).

[148] BLOCK, B. **Color Atlas of Ultrasound Anatomy**. Stuttgart: Thieme, 2003. 286 p.

[149] EARGLE, J. **The Microphone Book**. 2nd ed. Oxford: Focal Press Elsevier, 2005. 377 p.

[150] HAVELOCK, D.; KUWANO, S.; VORLÄNDER, M. (Eds.). **Handbook of Signal Processing Acoustics**. New York: Springer, 2008. 1900 p.

[151] HOWARD, D. M.; ANGUS, J. A. S. **Acoustics and Psychoacoustics**. 4th ed. Oxford: Focal Press Elsevier, 2009. 488 p.

[152] POON, T. -C. **Optical Scanning Holography with MATLAB**. London: Springer, 2007. 153 p.

[153] SCHNARS, U.; JUEPTNER, W. **Digital Holography** – Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques. Berlin: Springer, 2005. 164 p.

[154] STERGIOPOULOS, S. **Advanced Signal Processing** – Theory and Implementation for Sonar, Radar and Non-Invasive Medical Diagnostic Systems. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 2009. 718 p. (The Electrical Engineering and Applied Signal Processing Series).

[155] WILLIAMS, E. G. **Fourier Acoustics** – Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography. San Diego: Academic Press, 1999. 306 p.

[156] ROSSING, T. D. (Ed.). **Handbook of Acoustics.** New York: Springer, 2007. 1182 p.

[157] HAUS, J. **Optical Sensor** – Basics and Applications. Weinheim: Wiley, 2010. 177 p.

[158] MANSY, H. et al. Testing Sensors for Body Surface Vibration Measurements. In: FIRST JOINT BMES/EMBS CONFERENCE SERVING HUMANITY, ADVANCING TECHNOLOGY, Oct 13-16, Atlanta, EUA. **Proceedings**, p. 800, 1999.

[159] LAI, P. -H. et al. A Robust Feature Selection Method for Noncontact Biometrics based on Laser Doppler Vibrometry. In: 6TH BIOMETRICS SYMPOSIUM (BSYM 2008), Set 23-25,Tampa, FL, EUA. **Proc.**, p. 65-70, 2008.

[160] LI, W. et al. LDV Remote Voice Acquisition and Enhancement. In: THE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION (ICPR'06), IEEE Computer Society. **Proceedings**, p. 1-4, 2006.

[161] LI, W.; ZHU, Z.; WOLBERG, G. Remote Voice Acquisition in Multimodal Surveillance. In: ICME 2006, IEEE. **Proceedings**, p. 1649-1652, 2006.

[162] QU, Y.; WANG, T.; ZHU, Z. Remote Audio/Video Acquisition for Human Signature Detection. In: THE 3RD IEEE CVPR BIOMETRICS WORKSHOP, Jun. 25. **Proceedings**, p. 1-6, 2009.

[163] ZHU, Z.; LI, W.; WOLBERG, G. Integrating LDV Audio and IR Video for Remote Multimodal Surveillance. In: THE 2005 IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR 2005), IEEE Computer Society. **Proceedings**, p. 1-8, 2005.

[164] KUMAR, B. V. K. V.; MAHALANOBIS, A.; JUDAY, R. **Correlation Pattern Recognition**. Cambridge University Press, 2005. 390 p.

[165] TANG, Y. Y. et al. **Wavelet Theory and its Application to Pattern Recognition**. Singapore: World Scientific, 2000. 344 p. (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence).

[166] NASTAR, C.; AYACHE, N. Frequency-based non-rigid motion analysis. **IEEE Trans. on Pattern Anal. and Mach. Intell**., v. 18, n. 11, p. 1067-1079, 1996.

[167] BISHOP, C. M. **Neural Networks For Pattern Recognition**. Oxford: Clarendon Press, 1995. 482 p.

[168] BISHOP, C. M. **Pattern Recognition and Machine Learning**. New York: Springer, 2006. 738 p.

[169] DREYFUS, G. **Neural Networks** – Methodology and Applications. 2nd ed. Berlin: Springer, 2004. 497 p.

[170] HAYKIN, S. **Neural Networks. A Comprehensive Foundation**. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2004. 842 p.

[171] KRÖSE, B.; SMAGT, P. V. D. **An Introduction to Neural Networks**. 8th ed. Amsterdam, 1996. 135 p.

[172] SAMARASINGHE, S. **Neural Networks for Applied Sciences and Engineering** – from Fundamentals to Complex Pattern Recognition. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 560 p.

[173] SCHOENTGEN, J. Modulation frequency and modulation level owing to vocal microtremor. **J. Acoust. Soc. Am.,** v. 112, n. 2, p. 690-700, 2002.

[174] SILBERNAGL, S.; DESPOPOULOS, A. **Color Atlas of Physiology.** 6th ed. Stuttgart: Thieme, 2009. 441 p.

[175] ZWEIG, G. **Wavelet Transforms as Solutions of Partial Differential Equations.** DOE OSTI Los Alamos National Laboratory, p. 1-9, 1997.

[176] SWABEY, M. A. et al. The biometric potential of transient otoacoustic emissions. **Int. J. Biometrics**, v. 1, n. 3, p. 349-364, 2009.

[177] GANCHEV, T.; FAKOTAKIS, N.; KOKKINAKIS, G. Comparative evaluation of various MFCC implementations on the speaker verification task. In: 10TH INT. CONF. ON SPEECH AND COMPUTER (SPECOM 2005). **Proceedings**, v. 1, p. 191-194, 2005.

[178] YU, K.; MASON, J.; OGLESBY, J. Speaker recognition using hidden Markov models, dynamic time warping and vector quantization. **IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing,** v. 142, n. 5, p. 313-318, Oct 1995.

[179] RABINER, L. R.; SCHAFER, R. W. **Introduction to digital speech processing.** Boston: Now, 2007. p. 194. (Foundations and Trends in Signal Processing).

[180] VERTAMATTI, R. Identificação de pessoas através da voz, com ênfase na fonação nasal do idioma português, utilizando técnicas de predição linear e homomórfica. São Paulo, 1989. 174 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[181] XIN-YI, Z.; JIN-PEI, W.; YOU-WEI, Z.; QI-SHAN, Z. Optimum vector quantization codebook design for speaker recognition. In: ICSP '04, 2004, Signal Processing, **Proceedings of the 7th International Conference**, v. 2, n. 31, p. 1397-1402, Aug.-Sept. 2004.

[182] LINDE, Y.; BUZO, A.; GRAY, R. M. An algorithm for vector quantizer design. **IEEE Trans. Comm.**, v. COM 28, p. 84-95, Jan. 1980.

[183] BLUM, R. S.; LIU, Z. (Eds.). **Multi-Sensor Image Fusion and Its Applications**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. 499 p. (Signal Processing and Communications).

[184] LIGGINS, M. E. et al. (Eds.). **Handbook of Multi-Sensor Data Fusion** – Theory and Practice. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 2009. 849 p. (The Electrical Engineering and Applied Signal Processing Series).

[185] MELISAVLJEVIC, N. **Sensor and Data Fusion**. Vienna: I-tech, 2009. 490 p.

[186] MITCHELL, H. B. **Multi-Sensor Data Fusion.** Berlin: Springer, 2007. 281 p.

[187] RAOL, J. R. **Multi-sensor Data Fusion with Matlab**. Boca Raton: CRC, 2010. 534 p.

[188] JAIN, A. K.; CHEN, Y.; DEMIRKUS, M. Pores and ridges: High-resolution fingerprint matching using level 3 features. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 29, n. 1, p. 15-27, Jan 2007.

[189] FARAGE, M. A.; MILLER, K. W.; MALBACH, H. I. (Eds.). **Textbook of Aging Skin.** Berlin: Springer, 2010. 1220 p.

[190] TOLLEFSBOL, T. O. (Ed.). **Epigenetics of Aging.** New York: Springer, 2009. 469 p.

[191] BOEHNEN, C.; FLYNN, P. Accuracy of 3D scanning technologies in a face scanning scenario. In: 3DIM'05, the FIFTH INT. CONFERENCE on 3D DIGITAL IMAGING and MODELING, IEEE. **Proceedings**, p. 1-8, 2005.

[192] BRONSTEIN, A. M.; BRONSTEIN, M. M.; KIMMEL, R. Three-dimensional face recognition. **IJCV**, p. 1-44, 2004.

[193] PIERCE, T. C. et al. (Eds.). **Handbook of Machine Olfaction –** Electronic Nose Technology**.** Weinheim: Wiley, 2003. 592 p.

[194] CARDOSO, D. P. São Paulo, 2009. Identificação de locutor usando modelos de misturas de gaussianas. 86 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GLOSSÁRIO

Abdução e adução	Em referência às cordas vocais: abdução é quando estão abertas e adução quando estão fechadas.
Aberração esférica	Aumento da refração dos raios de luz nas laterais da lente em relação à região central.
Aneuploidia	Número cromossômico diferente do normal à espécie.
Assimetria Flutuante	Desvio de um organismo de sua simetria bilateral.
Astigmatismo	Raios que propagam em dois planos perpendiculares provocam focos distintos na lente.
Bilateria	É um ramo do sub-reino Metazoa que apresenta simetria bilateral. Bilatérios pertencem a tal sub-reino.
Biognose	Do grego: bio = βίος (vida); gnosis = γνωσις (conhecimento). Investigação sobre a estrutura de seres vivos.
Biometric menagerie	Associação a animais cunhada por G. Doddington sobre a aglutinação de parâmetros biométricos de pessoas facilitadoras ou complicadoras do reconhecimento.
Biossinal	Termo genérico de qualquer sinal monitorado de um ser biológico.
Bypass	Rota alternativa sobrepujando ao procedimento normal.
Características biométricas	Universalidade, unicidade, permanência, mensurabilidade, performance, aceitabilidade, fraudulência.
Cepstro	Assim como cepstrais, anglicismo adaptado apenas no final da palavra e comumente utilizado na língua portuguesa técnica. Vem do inglês cepstrum, onde as 4 letras iniciais são invertidas de spectrum. Cepsetro seria melhor adaptação.
Cimática	Do grego: κῦμα (onda). Estudo de visualização de modos vibracionais.
Cross-talk fotônico	Interferências óticas que ocorrem devidas principalmente à redução do tamanho do pixel no sensor.
Curvatura de campo	Também chamada de Petzval. Aberração ótica em que um objeto plano e normal ao eixo ótico não forma imagem plana no sensor.

Dermatoglifia	Do grego: derma = "pele", glifos = "símbolos“. Estudo das impressões digitais (datilogramas).
Di- ou monoamnióticos	Refere-se a quantidade de sacos amnióticos na gestação de gêmeos.
Di- ou monocoriônico	Refere-se a quantidade de placentas na gestação de gêmeos.
Distância genética	Refere-se à divergência do código genético entre espécies ou membros da própria espécie.
Distópico	O oposto de utopia. Sociedades distópicas impõem controle exacerbado ao cidadão.
Efeito McGurk	Interação de sons e imagens na percepção da fala.
Emissões otoacústicas	Sons gerados dentro do ouvido interno, podendo ser espontâneos ou evocados.
Enantiomorfo	Não há rotação que coincida com a imagem especular. Também chamado de quiral.
Endógeno	Do grego, ενδο = (dentro) + γενής = (vindo de).
Epigenética	Do grego, επί = (acima) + γενετικός = (genética).
Estroma	Estroma da íris compõe-se por um conjunto de tecido fibroso. A maioria das fibras tem a direção radial para a pupila. A densidade dos grânulos de pigmentos geram a coloração dos olhos.
Eumelanina	De cor acastanhada ou preta, são grânulos de melanina que se dispõem sobre o núcleo do queratinócito, de modo a impedir lesões no DNA da célula pelos raios ultravioleta.
Exógeno	Do grego, έξω = (fora) + γενής = (vindo de).
f/#	Correspondente à abertura da lente. É a divisão da distância focal “f” pelo diâmetro da pupila de entrada. Os números # são comumente apresentados em múltiplos de $\sqrt{2}$.
Fonotática	Restrição na associação de fonemas de uma língua.
Fuzzy comparisons	Comparações difusas, já que as informações biométricas nunca são capturadas duas vezes da mesma forma.
Genuína	Pessoa cujos parâmetros obtidos são classificados como dela mesma.
Hacker	Programador capaz de burlar sistemas de segurança para obter acesso não autorizado a um equipamento ou rede.

Hiperemia	Variação da vasodilatação devido ao metabolismo, ingestão de substâncias e pressão atmosférica.
Holístico	Abordagem que enfoca a análise do todo. Contrapõe-se ao reducionismo, que particulariza a partes do todo.
Ideoletal	Padrão de linguagem única ao indivíduo.
Impostora	Pessoa cujos parâmetros obtidos são classificados como de outra pessoa menos dela própria.
Interassociado	Reciprocamente associado, que mantém uma relação de dependência mútua.
Intrusividade	Grau de intrusão no comportamento livre de usuários.
Lipofuscina	Pigmento fino, castanho-dourado, constituído por fosfolípides e proteínas, que resulta da digestão incompleta dos restos celulares. É mais freqüente nas células perenes ou envelhecidas.
Macrofotografia	Quando a imagem a ser fotografada possui tamanho real igual ou menor do que o tamanho de sua imagem refletida sobre o sensor.
Maldição da dimensionalidade	Sistemas tornam-se computacionalmente intratáveis quando do aumento do número de variáveis.
Metacarpo	Ossatura que forma a palma da mão.
Metilação	Exemplo de epigenética: o radical metil associa-se à seqüência genética e inibe ou acentua determinada funcionalidade.
Microbolômetro	Sensor infravermelho baseado na mudança de resistência de acordo com o calor incidente. Não precisa ser esfriado.
Mosacismo	Materiais genéticos distintos provenientes do mesmo zigoto.
Motion blur	Em sistemas de aquisição de imagens, borrão devido ao movimento perante o tempo de exposição.
Multialgoritmo	Mesmos dados biométricos processados por múltiplos algoritmos.
Multiinstância	Múltiplas instâncias do mesmo traço biométrico, no caso, lado esquerdo e direito.
Multimodal	Sistema que combina evidências de múltiplos traços biométricos para determinar a identidade.
Multissensor	Mesma evidência obtidas por múltiplos sensores.

Negentropia	"Entropia negativa", cunhada por Erwin Schrödinger no livro *"O que é vida?"* e significa exportar entropia através do metabolismo.
Notocórdio	Anexo embrionário que dá origem à coluna vertebral.
Ontogenia	Origem, morfogênese e desenvolvimento de um organismo a partir do estado inicial até a fase adulta.
Opistenar	Reverso da palma da mão.
Pan	Advém do inglês, *pan* ou *panning*, expansão polifônica panorâmica.
Papilas dérmicas	Saliências da pele para aumentar o contato (similar às impressões digitais).
Perceptron	Nome incorreto, mas comumente utilizado, já que está implícito que há não-linearidade descontínua, porém se usa para funções de transferência de não-linearidade contínua e derivável.
Pitch	Freqüência fundamental da voz.
Plasticidade fenotípica	Variações de expressão ou aparência de um traço corpóreo.
Prosódica	Ritmo, entoação, ênfase da fala.
Quase-simetria	Como as assimetrias bilaterais são diminutas perante às simetrias bilaterais, utiliza-se o termo "quase".
Quimerismo	Presença de mais de um código genético no mesmo corpo.
Quiral	Não há rotação que coincida com a imagem especular. Também chamado de Enantiomorfo.
Rationale	Expressão latina: bases ou razões fundamentais de algo
Rayleigh-Lamb	Ondas de superfície em sólidos.
Redes Neurais	O termo "Artificial" está subentendido, i.e., "Redes Neurais" refere-se aqui a "Redes Neurais Artificiais" e não a "Redes Neurais Biológicas". É relevante salientar que o nome desta técnica de classificação de padrões suscita exageradas expectativas ao se associar à estrutura cerebral sem que haja plausibilidade biológica [168, p. 226].
Resolução vs. Precisão vs. Exatidão	Resolução pode ser de pixels, espacial, espectral, temporal e radiométrica. Descreve-se qualquer medida por precisão e exatidão. Precisão relaciona-se a repetibilidade e reprodutibilidade. Exatidão é o quão real é a representação.

Ruído de imagem	Relacionado à sensibilidade do sensor digital, notado principalmente em imagens com alto ISO.
Sagital	Plano anatômico, também chamado de medial, que divide o corpo nas metades esquerda e direita. Junto do coronário e do transversal, compõem os três principais planos de corte.
Scanner	Traduz-se por escâner ou digitalizador. Prefere-se aqui o termo em inglês devido ao mais extenso uso.
Scholte-Stoneley	Scholte: tipo de onda associada à interface entre fluído e sólido. Stoneley: tipo de onda associada à interface entre sólidos. Em ambos casos a onda é máxima na interface e decresce exponencialmente com a distância à interface.
Simetria	Do grego συμμετρια, derivado de συν (juntos) e μετρου (medida), significa comensurabilidade. O uso do termo evoluiu, com múltiplas interpretações à estética, à química, à matemática, à física quântica, etc. Aplica-se aqui o conceito de simetria geométrica biológica, i.e., uma transformação espacial, $T(x) \rightarrow x$, que mantém as características visuais da entidade biológica.
Somitas	Em embriões de vertebrados, são massas da mesoderme distribuídas ao longo do tubo neural, i.e., o percussor do sistema nervoso central.
Transformação afim	Do Latin, affinis, que significa "conectado com". Entre dois espaços vetoriais consiste em uma transformação linear (Ax) seguida por uma translação (b): $x \rightarrow Ax + b$.
Template	Uma vez extraídas as características primordiais das amostras dos traços biométricos, um conjunto de dados chamado de template é armazenado na base de dados.
Vanishing twins	Também chamado de "Síndrome do Gêmeo Evanescente" ou "Reabsorção Fetal". São fetos de gestação múltipla que morrem e são absorvidos pela mãe ou gêmeo.
Vasculogênese, dactilogênese, iridogênese	Respectivamente, são os processos de formação de veias, impressões digitais e íris.
Vestigialidade	Devido à evolução, estruturas perdem função, mas indícios permanecem.
Xifópagos	Gêmeos que compartilham alguma parte do corpo.

ANEXO

Este trabalho foi financiado pela Fapesp (Processo 2009/18242-5) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) nº 309249/2008-2. *Por envolver testes com pessoas, esta tese seguiu normas do Conselho de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da USP (vide parecer abaixo).*

São Paulo, 11 de dezembro de 2009.

Il^mo(a). Sr(a).
Prof. Dr. Miguel Arjona Ramírez
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

REFERENTE: **Projeto de Pesquisa** "Assimetria humana no reconhecimento multibiométrico" - **Pesquisador(a) Responsável**: Prof. Dr. Miguel Arjona Ramírez - **Co-Investigador(es):** Rodolfo Vertamatti - **Registro CEP-HU/USP**: 969/09 – **SISNEP CAAE:** 0084.0.198.000-09

Prezado(a) Senhor(a)

O Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo, em reunião ordinária realizada no dia 11 de dezembro de 2009, analisou o Projeto de Pesquisa acima citado, considerando-o como **APROVADO** bem como o seu **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.**

Lembramos que cabe ao pesquisador elaborar e apresentar a este Comitê, relatórios anuais (parciais ou final, em função da duração da pesquisa), de acordo com a Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, inciso IX.2, letra "c".

O primeiro relatório está previsto para 11 de dezembro de 2010.

Atenciosamente,

Dr. Maurício Seckler
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa
Hospital Universitário da USP

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA USP
Avenida Professor Lineu Prestes, 2565 – Cidade Universitária – 05508-000 São Paulo – SP
Tels.: (11) 3091-9457 – Fax: (11) 3091-9452 - E-mail: cep@hu.usp.br