

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Método para Compatibilidade  
entre Impressões Digitais com e sem contato

Pedro Salum Franco

Brasília, Julho de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia e Instituto de Ciências Exatas

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**Método para Compatibilidade  
entre Impressões Digitais com e sem contato**

**Pedro Salum Franco**

*Relatório submetido ao Departamento de Ciência da  
Computação e ao Departamento de Engenharia  
Elétrica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro de Computação*

Banca Examinadora

Prof. Alexandre Zaghetto, CIC/UnB  
*Orientador*

\_\_\_\_\_

Prof. Camilo Chang Dórea, CIC/UnB  
*Examinador*

\_\_\_\_\_

Prof. Marcus Vinicius Lamar, CIC/UnB  
*Examinador*

\_\_\_\_\_

Prof. Mamede Lima-Marques, FCI/UnB  
*Examinador Externo*

\_\_\_\_\_

## **Dedicatória**

*À minha família.*

*"And to the crazy ones that think they can change the world, because they are who do"*

*Pedro Salum Franco*

## Agradecimentos

À minha mãe, **Anna Flávia Berendt Salum**, por ter sempre desempenhado o papel não somente de mãe e educadora, mas também de melhor amiga e fiel escudeira, me apoiando em todos os momentos da minha vida, mesmo quando eu estava errado, me mostrando como o mundo funciona e que nunca devo desistir dos meus sonhos. Ao meu pai **Edísio Sobreira Gomes de Matos Filho**, por me aceitar como filho, por me dar conselhos, e sempre prover o necessário para o meu sucesso.

À minha avó e segunda mãe, **Maria Elisa Berendt**, por todo o carinho, dedicação e cuidado que sempre teve comigo, me ensinando a empreender de forma sustentável, mas acima de tudo, me mostrando a sua arte de viver, a qual sempre invejarei. Ao meu avô, **Ronaldo Antônio Salum**, pelas suas histórias de vida, as quais me inspiram diariamente, por me incentivar intelectualmente e à constantemente inovar, me ensinar velhos costumes, e principalmente à *ser* um Salum.

Ao meu Irmão Bruno Vasconcelos Gomes de Matos e aos meus primos, **Guilherme Chiodelli Salum**, **Fernando Chiodelli Salum** e **Guilherme Sik Salum** por todos os momentos hilários. Em especial ao meu primo **Guilherme Sik Salum**, por estar comigo nas maiores roubadas da minha vida.

Aos meus tios e tias, que quando necessário me receberam de braços abertos e cuidaram de mim, em especial ao meu padrinho **Andrey Berendt Salum** e ao **Charles Berendt Salum**.

À minha melhor amiga, **Marcella Ramos Tavares Abrahão Costa**, por todo seu amor, carinho, risadas, paciência, pelas aulas de medicina particulares e principalmente por me fazer uma pessoa melhor.

Ao meu melhor amigo e sócio **Daniel Assad Maia Sandoval**, por acreditar em nosso potencial de sermos frenéticos, inovadores e fazer o mundo um lugar melhor, sempre inspirados pela simplicidade e bom senso.

À família **Assad Maia**, a qual sempre me acolheu como membro e se preocupou comigo, em especial à **Anna Beatriz** e à **Letícia**, pelo carinho, amizade e confiança.

Ao meu orientador e grande amigo, **Alexandre Zaghetto**, por todos ensinamentos e oportunidades oferecidas, desde o 1º semestre de engenharia, acreditando em meu potencial, por todos os momentos de "insanidade", reflexão e risadas, pelos conselhos e por abrir meus olhos para um mundo novo, mais humano e repleto de possibilidades.

À todos professores do Departamento de Ciência de Computação e Engenharia Elétrica da UnB, que contribuíram para o meu crescimento como profissional e como ser humano, em especial ao **Flávio de Barros Vidal**, pelos seus "Wrong Bizus" e nos ajudar com certos problemas burocráticos e aos professores responsáveis pela criação do curso de Engenharia de Computação, possibilitando a minha participação na 1ª turma.

Aos Professores **Camilo Chang Dórea**, **Marcus Vinicius Lamar** e **Mamede Lima-Marques** por terem aceitado o convite para participarem do meu trabalho na condição de examinadores e proporem melhorias para o meu Trabalho.

Aos **Loucos** que fizeram, fazem e farão parte, de uma forma ou de outra, da **Loop - Engenharia de Computação**, por toda a garra e vontade de construir algo do nada.

À Pátria, sem a qual eu não teria adentrado em uma Universidade Pública e tido tantas oportunidades.

E, Àquele que me trouxe ao mundo.

*Pedro Salum Franco*

Universidade de Brasília — UnB  
Instituto de Ciências Exatas / Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Ciência da Computação / Departamento de Engenharia Elétrica  
Bacharelado em Engenharia de Computação

Banca examinadora composta por:

Prof. Dr. Alexandre Zaghetto (Orientador) — CIC/UnB  
Prof. Dr. Camilo Chang Dórea — CIC/UnB  
Prof. Dr. Marcus Vinicius Lamar — CIC/UnB  
Prof. Dr. Mamede Lima-Marques — FCI/UnB

#### **CIP — Catalogação Internacional na Publicação**

Franco, Pedro Salum.

Método para Compatibilidade entre Impressões Digitais com e sem Contato / Pedro Salum Franco. Brasília : UnB, 2014.

88 p. : il. ; 297mm.

Monografia (Graduação) — Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

1. Biometria, 2. Impressão Digital Sem Contato, 3. Compressão de Impressões Digitais, 4. Compatibilidade Biométrica

CDU 621.3

Endereço: Universidade de Brasília  
Campus Universitário Darcy Ribeiro — Asa Norte  
CEP 70910-900  
Brasília-DF — Brasil

---

## RESUMO

Soluções em biometria por impressões sem contato têm sido propostas com o objetivo de se superar os problemas intrínsecos relacionados às tecnologias que exigem o contato. Para desfrutarmos das vantagens operacionais dos digitalizadores sem toque, as imagens resultantes deste tipo de captura devem ser processadas a fim de se tornarem similares àquelas obtidas por meio dos digitalizadores tradicionais baseados em contato, visto que os sistemas legados possuem bancos de mais de 200 milhões de imagens adquiridas com contato, as quais são diariamente utilizadas para efetuar identificações. O presente trabalho apresenta uma solução em duas etapas visando a compatibilidade entre essas duas tecnologias, onde: (I) Procura reproduzir a textura de impressões digitais legadas; e (II) simular o processo de rolagem unha-a-unha. A partir de testes, comprovamos que 90% das impressões adquiridas sem toque e então processadas são consideradas boas, muito boas ou excelentes e que sistemas já existentes para impressões digitais com toque retornaram um EER (*Equal Error Rate*) em torno de 0.34% para casamentos entre impressões digitais sem contato multivista e de 13% entre impressões digitais com e sem contato. Desta forma, demonstrando a viabilidade do método aqui proposto.

---

## ABSTRACT

Touchless multiview fingerprinting technology has recently been proposed as an alternative to overcome the intrinsic problems of traditional touch-based systems. However, since touch-based fingerprinting technology is undoubtedly the most used nowadays, images captured by touchless devices must be further processed in order to become similar (and therefore compatible) to those obtained by conventional scanners. This work presents a two-step solution in order to make touch and touchless technologies work together. Test results have shown that 90% of fingerprints acquired without touch and then processed were considered good, very good or excellent and existing touch based systems returned an EER around 0.34% for matchings between touchless multi view fingerprints and 13% between contact and contactless. Therefore, demonstrating the feasibility of the proposed method.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.3	OBJETIVOS DO PROJETO	2
1.4	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO	3
<b>2</b>	<b>PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS</b>	<b>4</b>
2.1	SINAIS	4
2.1.1	CONVOLUÇÃO	5
2.2	IMAGEM DIGITAL	6
2.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	7
2.3.1	TRANSFORMAÇÃO GAMA	7
2.3.2	EQUALIZAÇÃO DE HISTOGRAMA	10
2.3.3	FILTRAGEM ESPACIAL	11
2.3.4	BINARIZAÇÃO	15
2.4	CODIFICADORES DE IMAGEM	17
2.4.1	JPEG	19
2.4.2	WSQ - <i>Wavelet Scalar Quantization</i>	21
2.4.3	JPEG2000	23
2.4.4	H.264/AVC-I	23
<b>3</b>	<b>BIOMETRIA</b>	<b>27</b>
3.1	INTRODUÇÃO	27
3.1.1	O QUE DEFINE UMA BOA TÉCNICA BIOMÉTRICA	28
3.1.2	TAXONOMIA DOS AMBIENTES DE APLICAÇÃO	29
3.2	IMPRESSÃO DIGITAL	30
3.2.1	HISTÓRICO	30
3.2.2	CLASSIFICAÇÃO E CASAMENTO DOS SISTEMA DE HENRY	35
3.2.3	MINÚCIAS	36
3.2.4	ÁREAS DE APLICAÇÃO	37
3.2.5	A TECNOLOGIA NOS SISTEMAS ATUAIS	39
<b>4</b>	<b>IMPRESSÕES DIGITAIS SEM CONTATO</b>	<b>48</b>

4.1	INTRODUÇÃO .....	48
4.2	A TECNOLOGIA SEM TOQUE.....	49
<b>5</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>53</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	53
5.2	EQUALIZAÇÃO LOCAL DE HISTOGRAMA .....	53
5.3	CORREÇÃO GAMA .....	54
5.4	FILTRAGEM GAUSSIANA .....	54
5.5	BINARIZAÇÃO .....	55
5.5.1	SOMA DAS IMAGENS BINARIZADAS .....	56
5.6	CORREÇÃO GEOMÉTRICA .....	57
5.7	ADIÇÃO DE TEXTURA .....	58
5.7.1	ESMAECIMENTO .....	58
<b>6</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>60</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	60
6.2	BASE DE IMPRESSÕES DIGITAIS PARA TESTE .....	60
6.3	TESTE 1: CASAMENTO ENTRE IMPRESSÕES DIGITAIS SEM CONTATO MULTI-VISTA PARA DETERMINAÇÃO DOS MELHORES PARÂMETROS.....	61
6.4	TESTE 2: CASAMENTO ENTRE IMPRESSÕES DIGITAIS SEM CONTATO MULTI-VISTA COM DIVERSOS ALGORITMOS E NÍVEIS DE COMPRESSÃO .....	64
6.5	TESTE 3: CASAMENTO ENTRE IMPRESSÕES DIGITAIS SEM CONTATO MULTI-VISTA E IMPRESSÕES DIGITAIS COM TOQUE.....	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
7.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	74
7.2	TESTE 1 .....	74
7.3	TESTE 2 .....	74
7.4	TESTE 3 .....	75
7.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	76
7.5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	76
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>82</b>
<b>I</b>	<b>DETALHES DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>83</b>
<b>II</b>	<b>DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD .....</b>	<b>89</b>

# LISTA DE FIGURAS

1.1	Leitor de impressão digital com toque (a) e leitor sem toque (b). . . . .	2
1.2	Impressão digital capturada sem toque e então convertida para com toque. . . . .	3
2.1	Espectro Eletromagnético. . . . .	4
2.2	Exemplo de sinal Contínuo e Discreto. . . . .	5
2.3	Exemplo de convolução de um sinal e uma resposta ao impulso de um sistema. . . . .	7
2.4	Exemplo de imagem colorida RGB e exemplo de <i>pixel</i> . . . . .	8
2.5	Diferença entre a luminância percebida pelo olho humano e a câmera digital. . . . .	8
2.6	Barra de luminância Original (a), capturada pela câmera (b) e pós correção gama (c). . . . .	9
2.7	Gráficos do gama de um dispositivo e da sua correção. . . . .	9
2.8	Exemplo de imagem em tons de cinza com correções gama distintas. . . . .	10
2.9	Histogramas da imagem <i>tires</i> com 50 níveis de resolução (a) e (b). . . . .	11
2.10	Imagem <i>tires</i> original (a), com o histograma equalizado (b) e seu histograma (c). . . . .	11
2.11	Imagem com os três tipos de ruídos, <i>Salt &amp; Pepper</i> , Impulso e Gaussiano. . . . .	12
2.12	Exemplo de Mascara de Convolução. . . . .	12
2.13	Exemplo de filtro linear. . . . .	13
2.14	(a) Imagem original com ruído e (b) Imagem filtrada com filtro gaussiano. . . . .	13
2.15	Visualização de uma Gaussiana Bidimensional. . . . .	14
2.16	Triangulo de Pascal. . . . .	15
2.17	Imagens binarizadas com limiares diferentes. . . . .	16
2.18	Exemplo de imagem binarizada por meio do limiar estabelecido pelo método de Otsu. . . . .	17
2.19	Diagrama de blocos do funcionamento de Codificadores de imagem. . . . .	19
2.20	Diagrama de blocos do funcionamento do WSQ. . . . .	21
2.21	Diagrama de blocos dos filtros da DWT. . . . .	22
2.22	Subbandas obtidas pela DWT. . . . .	23
2.23	Diagrama de blocos para compressão do H.264/AVC-I. . . . .	24
2.24	Imagens (a) original, (b)-(e) com diferentes codificadores à taxa de 0.1 <i>bpp</i> . . . . .	26
3.1	Exemplo de biometrias. . . . .	27
3.2	Aquisição de impressões digitais Supervisionada pela Polícia Federal Brasileira. . . . .	30
3.3	Exemplo de impressão digital Latente. . . . .	31
3.4	Precursos da Biometria por impressão digital. . . . .	31
3.5	Impressões digitais de Francis Galton. . . . .	32
3.6	Exemplo de cartão utilizado pelo FBI. . . . .	33

3.7	Tipos básicos de Impressão digital. ....	35
3.8	Sub tipos de Impressão digital. ....	35
3.9	Exemplo de cumes e vales. ....	36
3.10	Exemplo de impressões digitais com núcleos e deltas. ....	37
3.11	Alguns tipos de minúcia existentes. ....	37
3.12	Exemplo de poros contidos em uma impressão digital. ....	38
3.13	Funcionamento do FTIR. ....	40
3.14	Imagem original e pós equalização local ....	41
3.15	Exemplo de filtro de Gabor e impressão digital resultante da filtragem. ....	41
3.16	Impressão digital após algoritmo de <i>thinning</i> . ....	42
3.17	Exemplo de vizinhanças utilizadas pra determinar cumes (a)-(d) e determinar o fim dos cumes (e)-(h). ....	42
3.18	Máscaras utilizadas para detecção de minúcias. ....	43
3.19	Exemplo de análise de vizinhança para o algoritmo de Poincaré. ....	44
3.20	Exemplo de <i>matching</i> sendo efetuado. ....	45
3.21	Representação da FNMR e FMR. ....	46
3.22	Exemplo de curva DET para determinação dos pontos de interesse como o EER, ZeroFNMR e o ZeroFMR. ....	47
4.1	FlashScan 3D e exemplo de SLI ....	50
4.2	NEC Contactless Hybrid Finger Scanner. ....	50
4.3	TBS - Touchless Biometric Systems. ....	51
4.4	Planificação efetuada em imagem sem toque da TBS. ....	52
5.1	Imagem capturada e a mesma imagem após conversão ....	53
5.2	Exemplos de vistas ( $1024 \times 1280$ pixels, 8 bits/pixels) adquiridas por meio de um dispositivo sem contato multivista. ....	54
5.3	Imagem original adquirida pelo dispositivo sem toque (a), com o histograma equalizado globalmente (b) e com o histograma equalizado localmente (c). ....	54
5.4	Imagem $I_{h\gamma}$ , com $c = 1$ e $\gamma = 1.5$ ....	55
5.5	Imagens $I_{fi}$ resultantes do processo de filtragem: (a) a (c). Na filtragem foram utilizados filtros gaussianos de tamanho $h_i = [3 \ 5 \ 7]$ e respectivos desvios padrões dados pela Equação 5.1. ....	55
5.6	Imagens $I_{bi}$ resultantes do processo binarização: (a) a (c). A binarização foi realizada utilizando-se o software <i>mindtct</i> . ....	56
5.7	Imagem $I_M$ , gerada a partir da média das imagens $I_{bi}$ . ....	56
5.8	Correção geométrica proposta (a); e (b) resultado da correção geométrica aplicada à imagem da Figura 5.7. Utilizaram-se polinômios de grau 5. ....	57
5.9	Imagem $I_D$ com textura gerada artificialmente por meio de elipses. ....	58
5.10	(a) Mascara utilizada para efetuar o esmaecimento e (b) Imagem Final do processamento para compatibilidade entre Impressões digitais com e sem toque. ....	59
6.1	Exemplo de amostras sem toque e com toque utilizadas nos testes. ....	61

6.2	Diagrama de blocos do Teste 1.....	62
6.3	Gráficos dos resultados compilados do teste 2.....	66
6.4	Diagrama de blocos do Teste 2.....	67
6.5	Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com JPEG.....	68
6.6	Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com JPEG2000.....	69
6.7	Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com WSQ.....	70
6.8	Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com H-264 AVC-I.....	71
6.9	Mesmo dedo adquirido (a) sem toque, (b) com toque e (c) com toque transladada no eixo vertical.....	71
6.10	Diagrama de blocos do Teste 3.....	72
6.11	Gráficos dos resultados compilados do teste 3.....	73
I.1	Gráficos dos resultados obtidos para o teste 1 com os melhores parâmetros.....	84
I.2	Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador H264 AVC-I.....	85
I.3	Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador JPEG2000.....	86
I.4	Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador JPEG.....	87
I.5	Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador WSQ.....	88

# LISTA DE TABELAS

4.1	Comparativo entre sistemas com e sem toque.....	49
6.1	Tabela utilizada para definir os melhores parâmetros (tamanho de bloco para equalização local, índice de correção gama e quantidade de filtros a serem utilizados) para o método proposto.....	63
6.2	Algoritmos de codificação e as suas respectivas taxas em <i>bit/pixel</i> utilizadas para comprimir as imagens.....	64
6.3	Resultados para Teste 2 utilizando AVC-I.....	65
6.4	Resultados para Teste 2 utilizando JPEG.....	65
6.5	Resultados para Teste 2 utilizando JPEG2000.....	65
6.6	Resultados para Teste 2 utilizando WSQ.....	65

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Gregos

$\theta$	Angulação	[°]
$\Delta$	Varição entre duas grandezas similares	

## Subscritos

$h$	equalização local
$\gamma$	correção gama
$i$	índice $i$
$f$	filtrada
$b$	binarizada
$M$	média
$D$	correção geométrica

## Siglas

AFIS	Automated Fingerprint Identification System
LTI	Linear and Time Invariant - Linear e invariante no tempo
TBS	Touchless Biometric Systems (TBS)
FDP	Função Densidade de Probabilidade
ANSI	American National Standards Institute
NIST	National Institute of Standards and Technology
DPI	Dots per inch
BPP	Bits per pixel
EER	Equal Error Rate
ROC	Receiver Operating Characteristic
QM	Qualidade Média
NBIS	NIST Biometric Image Software

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

A autenticação biométrica, ou simplesmente biometria, pode ser definida como a verificação ou o reconhecimento automático da identidade de um indivíduo a partir de características fisiológicas ou comportamentais. Impressões digitais, geometria da mão, voz, íris, face, caligrafia e dinâmica de digitação são exemplos dessas características. Em geral, diferentes sistemas biométricos requerem tecnologia específica, dependendo da característica fisiológica/comportamental considerada. No entanto, independentemente das especificidades dos diversos sistemas biométricos, há problemas que precisam ser tratados pela maioria deles.

Não é tarefa fácil determinar qual característica biométrica é a mais adequada, considerando a diversidade de aplicações e condições de operação. No entanto, em aplicações forenses, civis e comerciais, impressões digitais têm se tornado largamente utilizadas. A entrada de um sistema de autenticação por impressões digitais é uma imagem digital que representa a estrutura de vales e franjas de um dedo real. Isso torna o processo de aquisição uma etapa crítica, que afeta significativamente o desempenho geral do sistema.

### 1.2 Definição do problema

Atualmente, a maior parte das atuais tecnologias que lidam com impressões digitais é baseada em contato, ou seja, requerem que o usuário pressione os dedos contra uma superfície de aquisição. Podemos ver um exemplo de leitor de impressões digitais com toque e um sem toque na Figura 1.1. O maior problema advindo dessa tecnologia são as distorções e inconsistências que podem ser introduzidas devido à elasticidade da pele. A qualidade das impressões digitais pode também ser seriamente afetada pelo contato não ideal causado por sujeira, suor, oleosidade, excesso de secura ou umidade, temperatura e impressões latentes. Além disso, partes diferentes do mesmo dedo podem ser capturadas a cada vez que o mesmo é apresentado ao sensor, resultando em amostras irreprodutíveis. Em alguns cenários, tais desvantagens podem impor a necessidade de um operador qualificado durante a fase de registro e, em muitos casos, múltiplas tentativas são efetuadas por

dedo até que sejam produzidas amostras com qualidade suficiente. Em aplicações governamentais como, por exemplo, o uso de biometria nas urnas eletrônicas empregadas pelo sistema eleitoral brasileiro, o processo de registro da população votante pode revelar-se extremamente lento. Neste exemplo específico, a expectativa do Tribunal Superior Eleitoral (TSE) é de que até 2018 todos os eleitores possam votar utilizando-se desse recurso. Apesar de nos últimos anos alguns algoritmos terem sido propostos com o objetivo de se compensar as limitações dos dispositivos com contato, esse paradigma de captura pode representar um gargalo no que tange o aprimoramento da qualidade de imagens de impressões digitais.



Figura 1.1: Leitor de impressão digital com toque (a) e leitor sem toque (b).

Soluções em biometria por impressões digitais sem contato têm sido propostas com o objetivo de se superar os problemas intrinsecamente relacionados a tecnologias que exigem o contato. Tais soluções procuram atacar o problema da qualidade da impressão digital em seu nível mais fundamental. Uma vez que sistemas sem contato não obrigam o usuário a pressionar os dedos em uma superfície, tais sistemas não requerem, por exemplo, algoritmos que procuram compensar as deformações decorrentes das propriedades elásticas da pele. Dentre as propostas de soluções sem contato, os dispositivos desenvolvidos pela empresa Touchless Biometric Systems (TBS) utilizam uma abordagem bastante interessante e promissora.

### 1.3 Objetivos do projeto

As imagens adquiridas por meio da tecnologia sem contato, em geral, não são compatíveis com as obtidas por digitalizadores convencionais, principalmente quando temos impressões digitais sem contato multivista. Esta incompatibilidade se dá pela natureza da imagem, onde a primeira é uma imagem costurada de três vistas do dedo e a segunda é uma representação obtida a partir de sensores, não necessariamente ópticos.

Desta forma, para desfrutarmos das vantagens operacionais dos dispositivos sem contato, sem que seja necessária a troca de todo o sistema atualmente implementado e *softwares* desenvolvidos, o presente Trabalho propõe uma solução para compatibilizar os sistemas com e sem toque, baseada

em processamento digital de imagens, a qual é dividida em duas etapas: (I) Procura reproduzir a textura de impressões digitais legadas; e (II) simular o processo de rolagem unha-a-unha.

Esta solução, além de propor uma compatibilidade entre os dois sistemas, visa também proporcionar aos papiloscopistas imagens que estão acostumados à trabalhar, fazendo com que eles não consigam distinguir entre impressões digitais adquiridas com e sem toque. A Figura 1.2 mostra a conversão desejada.

Para avaliar a eficácia do método, foram desenvolvidos dois principais experimentos: O primeiro procura verificar se os algoritmos já desenvolvidos para impressões digitais com toque são compatíveis com as imagens sem toque processadas; e o segundo experimento objetiva verificar a completa compatibilidade dos sistemas com e sem toque, casando-se impressões digitais legadas com as adquiridas sem toque e então processadas.

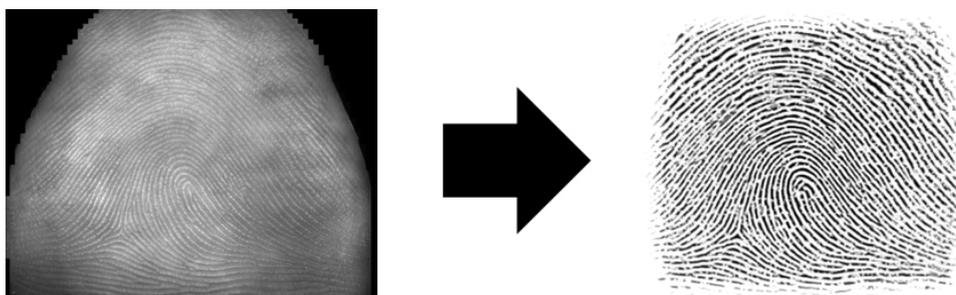


Figura 1.2: Impressão digital capturada sem toque e então convertida para com toque.

## 1.4 Apresentação do manuscrito

No Capítulo 2 faremos uma revisão sobre processamento de imagens. Falaremos sobre o que é uma imagem digital e como ela é representada pelo computador, e também falaremos sobre algumas técnicas clássicas de processamento. Em seguida, no Capítulo 3, efetuaremos uma contextualização sobre Biometria, elencando tipos, características e histórico. No mesmo capítulo entramos em mais detalhes sobre a autenticação biométrica por meio de impressões digitais com contato, mostrando tecnologias de captura, funcionamento de sistemas AFIS (*Automated Fingerprint Identification System*) e alguns dos algoritmos mais utilizados.

No Capítulo 4 falaremos sobre uma nova tecnologia de sistemas biométricos, baseado em impressões digitais sem contato, multivista, mostrando suas vantagens sobre a biometria com toque e listando as tecnologias que estão no mercado. Já no Capítulo 5, descreve-se a metodologia utilizada para resolver o problema de compatibilidade anteriormente apresentado. Resultados experimentais e as conclusões são mostradas nos capítulos 6 e 7, respectivamente. Bibliografia e anexo com material complementar são dispostos no final deste manuscrito.

## Capítulo 2

# Processamento Digital de Imagens

### 2.1 Sinais

Sinais constituem um ingrediente básico de nossa vida diária, principalmente quando falamos de comunicação, seja ela por meio de áudio, por meio de um sinal unidimensional, como a fala ou uma música ou por meio da visão, como o fato de vermos uma foto ou um vídeo no *Youtube*, que são sinais bidimensionais e tridimensionais respectivamente [2]. Em todos estes casos, o sinal é uma função que carrega informações sobre um comportamento ou um atributo de um fenômeno físico. Estes sinais por sua vez, parte estão contidos em um espectro eletromagnético, sendo cada banda deste espectro utilizada para um fim, como podemos ver na Figura 2.1 a seguir.

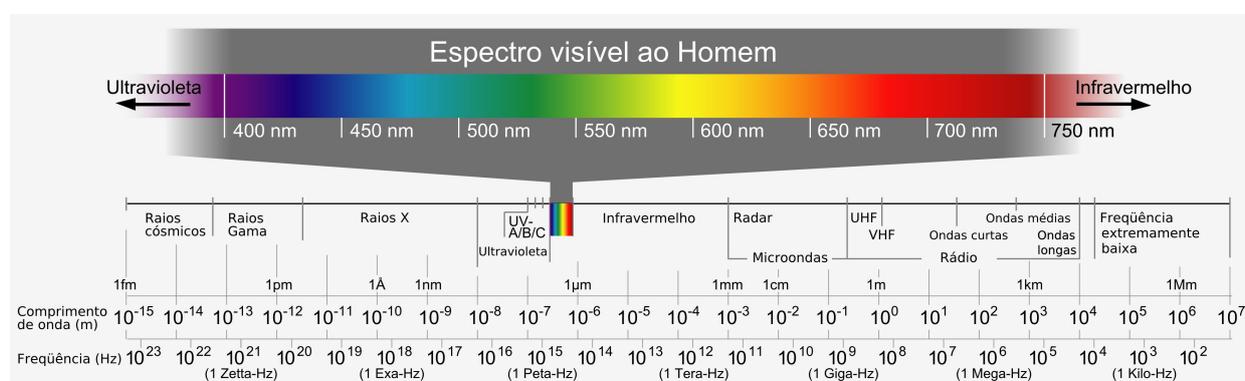


Figura 2.1: Espectro Eletromagnético.

Estes sinais caracterizados principalmente pela sua frequência, por vez, podem ser classificados, em função do tempo, em dois grandes grupos, sendo eles:

- **Contínuo** Neste contexto, diz-se que um sinal  $g(t)$  é um sinal de tempo contínuo se ele for definido para todo tempo  $t$ , com  $t$  pertencente aos reais. A Figura 2.2 representa um exemplo de um sinal contínuo, cuja amplitude varia continuamente no tempo. Este tipo de sinal é naturalmente encontrado em ondas físicas como, por exemplo, um som emitido por um violino.

- **Discretos** Um sinal de tempo discreto é definido somente em instantes isolados do tempo, ou seja, tem somente valores discretos para  $g[nT]$  definido para todo tempo  $nT$ , com  $n$  pertencente aos inteiros e  $T$  sendo o período de amostragem. Este tipo de sinal é encontrado quando amostramos um sinal contínuo e para representá-lo digitalmente. A Figura 2.2 representa um exemplo de sinal discreto obtido a partir de um sinal contínuo.

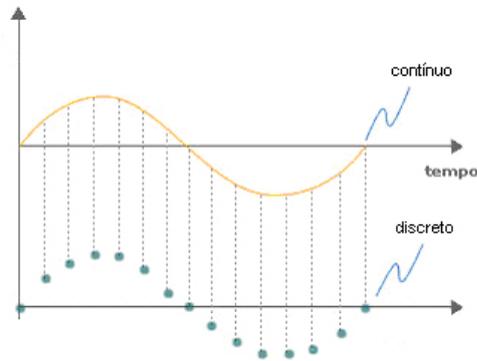


Figura 2.2: Exemplo de sinal Contínuo e Discreto.

### 2.1.1 Convolução

A resposta ao impulso é definida como saída de um sistema linear e invariante no tempo (*LTI*) devido à entrada de um impulso aplicado no instante  $t = 0$ . A partir desta resposta podemos caracterizar de forma completa o comportamento de um Sistema *LTI*.

Se a entrada de um sistema linear for escrita como uma superposição ponderada de impulsos deslocados no tempo, a saída também será uma superposição ponderada da resposta ao impulso, deslocada no tempo. Esta superposição, por vez, denominamos como Integral de Convolução, para tempos contínuos, ou Soma de Convolução para tempos discretos.

Sendo assim, podemos expressar um sinal de tempo contínuo como a superposição ponderada de impulsos deslocados no tempo:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\delta(t - \tau)d\tau \quad (2.1)$$

Se temos que a resposta ao impulso para um sistema linear é definido como  $h(t) = H\{\delta(t)\}$  e quando o sistema é dito invariante no tempo temos  $h(t - \tau) = H\{\delta(t - \tau)\}$ , ou seja, uma entrada de impulso deslocado no tempo gera uma saída de resposta ao impulso deslocada no tempo. Consideremos agora a saída de sistema em resposta à entrada superposicionada teremos que

$$y(t) = H \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\delta(t - \tau)d\tau \right\}. \quad (2.2)$$

e considerando-o linear e invariante no tempo,

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau \quad (2.3)$$

Portanto definimos a convolução como uma operação matemática linear e invariante definida por:

$$y(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau \quad (2.4)$$

ou seja, para termos a resposta do sinal aplicado à um sistema LTI, basta efetuarmos a convolução do sinal com a resposta ao impulso do sistema.

A interpretação da equação de convolução pode ser dada como:

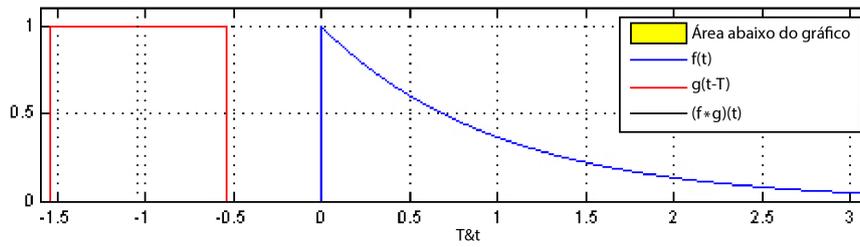
1. inverter um dos sinais, no caso estamos invertendo o sinal simétrico (Fig 2.3(a) );
2. Ir deslocando o sinal invertido de  $-\infty$  até  $\infty$ , efetuando a multiplicação de todas as partes que se sobrepõem dos dois sinais e integrar todos os seus valores, ou seja, a área do gráfico que se sobrepõem ( Fig. 2.3(b) - 2.3(c) );
3. Plotar para cada t o resultado de  $y(t) = x(t) * h(t)$ , como podemos ver na Figura 2.3(d).

## 2.2 Imagem digital

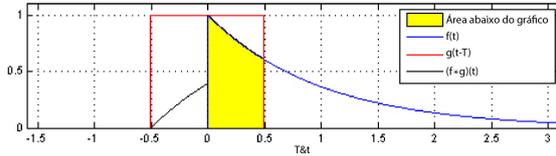
Uma imagem digital pode ser definida como sendo um sinal bidimensional discreto  $G[i, j]$  dependente de duas variáveis espaciais, ou também chamadas de coordenadas, e também de um valor de amplitude o qual definirá a intensidade, de forma discreta, daquele sinal naquele exato par ordenado  $[i, j]$ , dando a tonalidade de cinza desejada. A representação de imagens coloridas, como por exemplo em RGB (*Red, Green and Blue*), a imagem é formada por três planos do mesmo tipo de sinal bidimensional citado anteriormente, porém cada plano representa a quantidade daquela cor existente naquele ponto  $G[i, j]$ , sendo os planos R para vermelho, G para verde e B para azul, como mostrado na Figura 2.4.

Estas imagens são compostas por um número finito de elementos definidos em cada imagem por  $G[i, j]$ , tanto em imagens coloridas como em tons de cinza, contendo uma amplitude específica. Estes elementos são comumente chamados de *pixels*

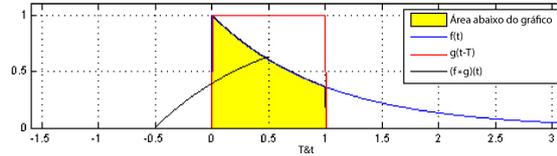
É importante lembrar que imagens digitais não são somente aquelas contendo dados do espectro visível, mas também são imagens adquiridas utilizando sensores de outras frequências, como por exemplo raios-x, sensores infravermelhos e raios gama.



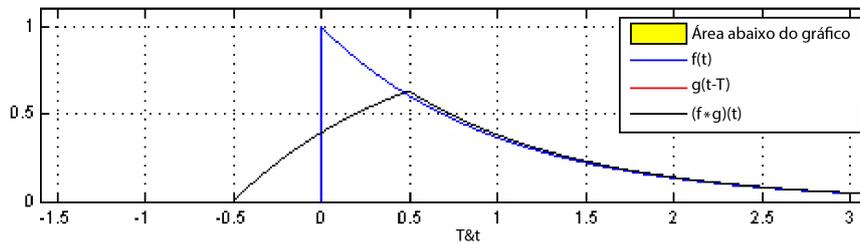
(a) Passo 1 - Plotar ambos os sinais e inverter um deles



(b) Passo 2 - Deslocamento do sinal invertido de  $-\infty$  até  $\infty$



(c) Continuação do passo 2



(d) Resultado da Convolução dos dois sinais

Figura 2.3: Exemplo de convolução de um sinal e uma resposta ao impulso de um sistema.

## 2.3 Processamento digital de Imagens

Quando uma imagem é adquirida por uma câmera digital ou outro sistema de imageamento, muitas vezes estas imagens não estão prontas para serem utilizadas diretamente, pois as mesmas podem estar, por exemplo, com baixo contraste, necessitando serem pré-processadas.

Este capítulo apresenta métodos para melhora destas imagens com o objetivo de eliminar características não desejadas.

### 2.3.1 Transformação Gama

Gama é uma característica muito importante para todos os sistemas de imageamento digital mas normalmente desconhecida por leigos. Ela define a relação entre os valores numéricos dos *pixels* e sua luminância. Sem gama, sombras capturadas por meio de dispositivos digitais, não seriam nada parecidas com o que enxergamos com nossos olhos.

Em uma câmera digital, quanto mais fótons atingem o sensor, por conta das características de sua construção, somente é capturado uma fração do sinal daquela determinada cor, seguindo uma relação não linear entre o sinal de entrada e o sinal capturado pelo sensor, porém o que ocorre com nossos olhos é uma relação linear, onde quanto mais fótons atingem nossos olhos, mais percebemos

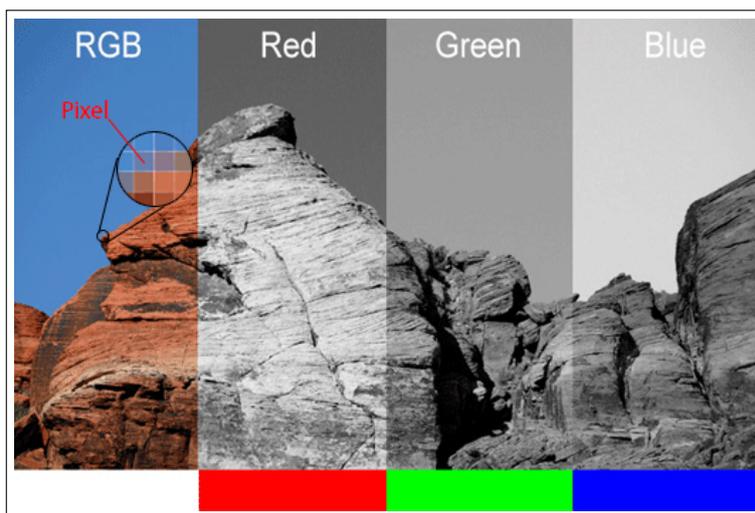


Figura 2.4: Exemplo de imagem colorida RGB e exemplo de *pixel*.

o aumento de luminosidade [1]. Comparado à câmeras digitais, nós somos muito mais sensíveis à mudanças de tons escuros que tons claros. Esta característica se da por uma peculiaridade biológica, a qual nos permite enxergar uma maior faixa de luminância, como podemos observar na Figura 2.5.

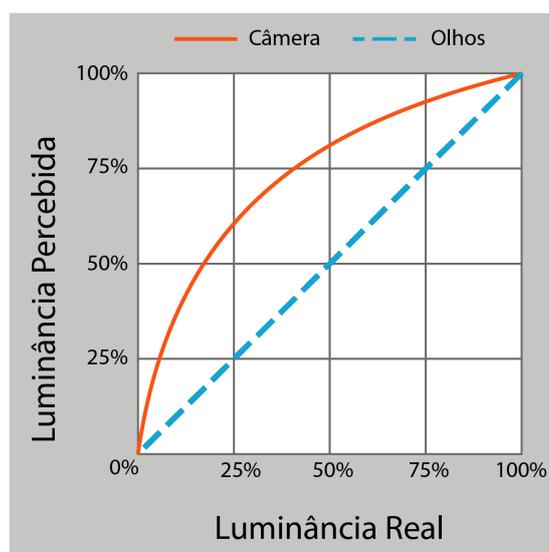


Figura 2.5: Diferença entre a luminância percebida pelo olho humano e a câmera digital.

Baseado nestes fatos acima descritos, deve existir uma função que transforma a luminosidade obtida pela câmera para a vista pelos nosso olhos. Temos esta função chamada de Correção Gama, também chamada de Transformação Gama, a qual redistribui os tons de luminosidade, como pode ser visto na Figura 2.6 . Esta Transformação é dada por [3]

$$I_{\gamma} = c \cdot I^{\gamma} \quad (2.5)$$

Esta operação possui sua devida importância no processamento digital de imagens para que

nós possamos não somente observar a imagem igual a real, mas também para garantir que processamentos futuros e dados como cores e histograma sejam completamente baseados na imagem natural.

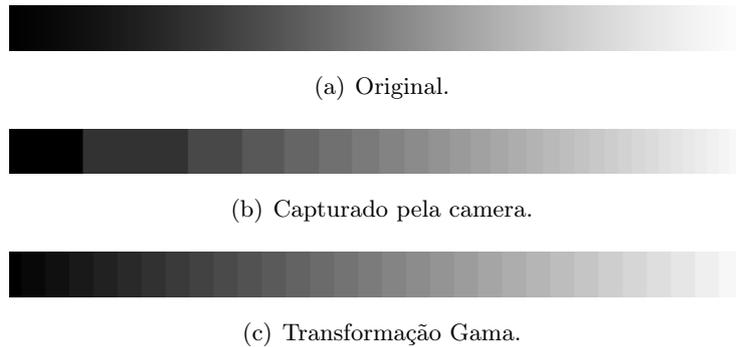


Figura 2.6: Barra de luminância Original (a), capturada pela câmera (b) e pós correção gama (c).

O *workflow* básico de transformações gama permeia desde a aquisição da imagem até a sua visualização, passando passos intermediários de processamento, como por exemplo amostragem, correção de níveis de cor e até compressão, sendo os passos básicos:

- *Gamma Encoding* - Esta etapa é aplicada pela câmera no momento de captura da imagem. Neste momento ocorre uma redistribuição dos tons de luminância de acordo com a especificação do sensor ótico (Fig. 2.7(a)) e com a quantidade de *bits* existente para armazenamento da imagem.

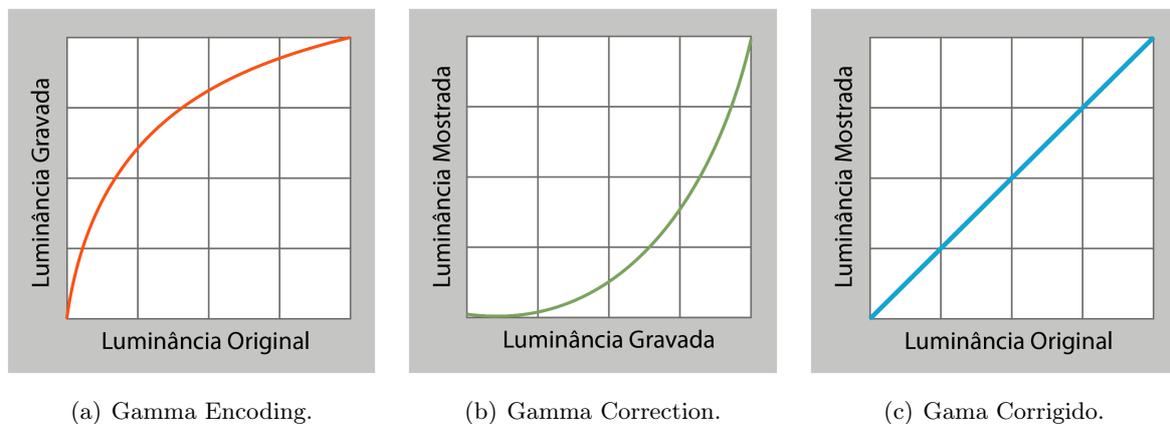


Figura 2.7: Gráficos do gama de um dispositivo e da sua correção.

- *Gamma Correction* - Esta etapa é aplicada pelo *hardware* que mostrará a imagem, seja ele o visor da câmera, sua placa de vídeo, seu monitor ou também seu software de edição. Neste momento tenta-se compensar o momento de codificação para que o observador tenha a imagem mais real possível (Fig. 2.7(c)), fazendo com que o observador tenha um  $\gamma$  mais próximo de 1 possível.

Porém esta correção efetuada pode também ser ajustada para  $\gamma$  maiores que um, efetuando

um realce maior da imagem possibilitando a visualização de detalhes mais escuros ou mais claros da foto anteriormente não vistos, um exemplo são as imagens na Figura 2.8.

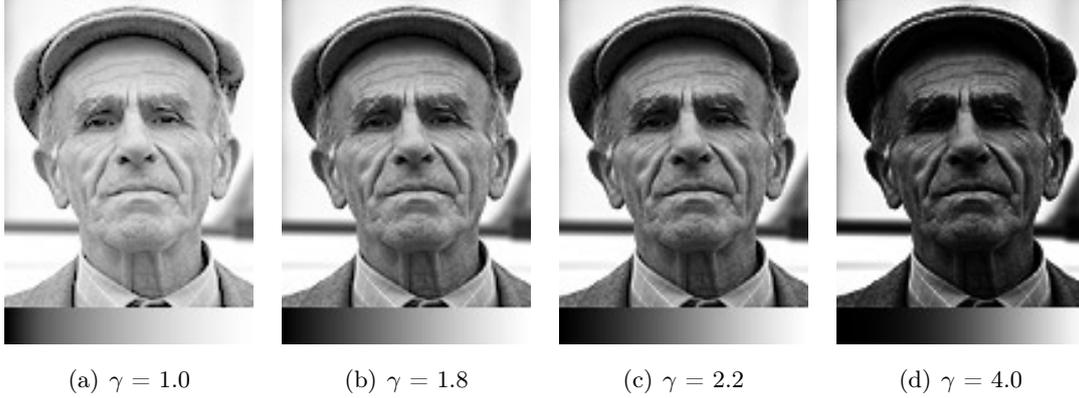


Figura 2.8: Exemplo de imagem em tons de cinza com correções gama distintas.

### 2.3.2 Equalização de Histograma

Um histograma de uma imagem digital com um total  $T$  de possíveis valores de *pixels*, onde  $T$  é definido em  $[0 \leq T \leq G]$ , é definido como uma função discreta

$$h(r_k) = n_k \quad (2.6)$$

onde  $r_k$  é o  $k$ -ésimo valor de intensidade no intervalo  $[0, G]$  e  $n_k$  é o número de *pixels* na imagem que possuem a intensidade  $r_k$ . O Valor  $G$  normalmente é definido como sendo 255, com  $T \in \mathbb{N}$  ou como 1 com  $T \in \mathbb{R}$ . Normalmente é muito útil trabalhar com histogramas normalizados, os quais são facilmente obtidos dividindo todos os elementos  $h(r_k)$  pelo numero total de *pixels* da imagem alvo. Assim denotamos

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \quad (2.7)$$

A partir das definições acima, podemos verificar que as informações espaciais da imagem não são representadas e que um histograma é único para cada imagem. Exemplos de histograma estão na Figura 2.9.

Vamos assumir por um instante que temos um histograma normalizado entre 0 e 1, e fazamos  $p_r$  sendo uma Função de Densidade de Probabilidade (FDP) dos níveis de intensidade da imagem. Agora executemos a seguinte transformação sobre esta FDP, tendo  $\phi$  como uma variável auxiliar de integração, poderemos demonstrar [1] que a saída será uma FDP uniforme.

$$s = \tau(r) = \int_0^r p_r(\phi) d\phi \quad (2.8)$$

$$p_s(s) = \begin{cases} 1 & \text{para } 0 \leq s \leq 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.9)$$

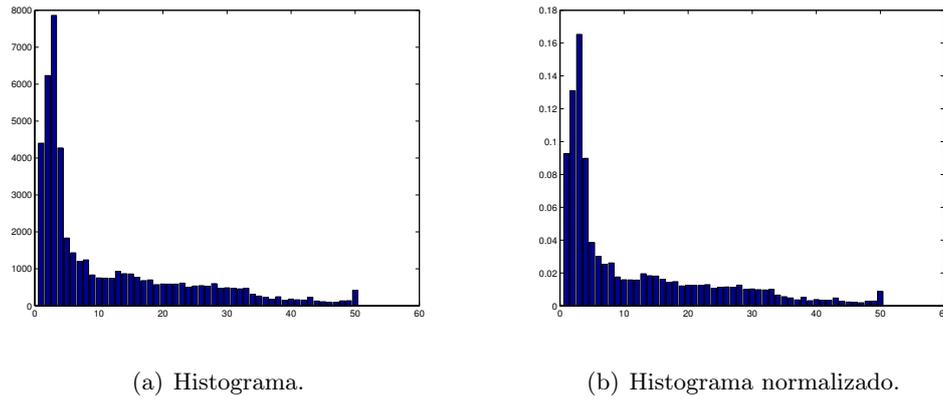


Figura 2.9: Histogramas da imagem *tires* com 50 níveis de resolução (a) e (b).

Em outras palavras, tentamos distribuir de maneira uniforme o número de ocorrências por valor de intensidade, tendo como resultado uma imagem onde os níveis de intensidade tendem a estar similares. Quando efetuamos tal operação, acabamos por aumentar o intervalo dinâmico, melhorando o contraste da imagem como um todo ou localmente em um conjunto de *pixels* específicos, realçando detalhes pouco visíveis de imagens adquiridas sob péssimas condições de iluminação, como vemos na Figura 2.10.



Figura 2.10: Imagem *tires* original (a), com o histograma equalizado (b) e seu histograma (c).

### 2.3.3 Filtragem Espacial

Como falamos no início deste capítulo, imagens podem vir danificadas por variações randômicas dos sensores, lentes ou por causa da própria iluminação. Estas variações randômicas são comumente chamadas de ruídos. Alguns tipos mais encontrados de ruídos são chamados de *salt and pepper*, impulso e *Gaussiano*. Ruídos *salt and pepper* contem ocorrências aleatórias de *pixels* pretos e brancos (Fig. 2.11(a) ), já ruídos impulso são somente ocorrências aleatórias de *pixels* brancos (Fig. 2.11(b) ). Diferentemente dos dois anteriores, o ruído *Gaussiano* contem variações de intensidade dos *pixels* seguindo a distribuição normal. Por causa desta característica, o ruído Gaussiano é um bom modelo de ruído gerado pelos sensores de câmeras digitais.

Para eliminarmos ou reduzirmos estes ruídos, efetuamos uma operação sob a imagem utilizando

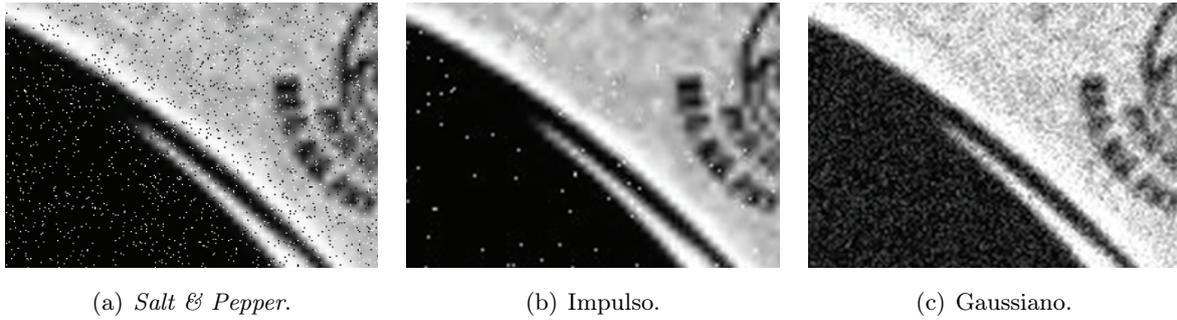


Figura 2.11: Imagem com os três tipos de ruídos, *Salt & Pepper*, Impulso e Gaussiano.

um filtro. Este processo de filtragem, por definição, se baseia em efetuar uma convolução da imagem, que é um sinal de duas dimensões, com o filtro, que é a resposta do sistema ao impulso de duas dimensões. Desta forma, efetuamos as mesmas três operações definidas na Seção 2.1.1, e obtemos a imagem final. O passo de inverter a resposta ao impulso é usualmente pulado, visto que os filtros que utilizamos são em grande maioria simétricos.

Um tipo de filtro bom para remover ruídos em geral, são filtros lineares que possuem um pico central e que quanto mais distante do centro possuem valores cada vez menores, tendendo à zero. Estes filtros, são de uma classe de filtros chamada FIR (*Finite Impulse Response*), que são implementados por meio de uma média ponderada dos *pixels* vizinhos também chamada de máscara de convolução (Fig. 2.12), o qual é passado pela imagem como um todo, linha a linha, operando sempre em blocos de um tamanho específico, sempre com os mesmos valores, o que caracteriza o filtro como invariante no espaço.

$$h[i, j] = Ap_1 + Bp_2 + Cp_3 + Dp_4 + Ep_5 + Fp_6 + Gp_7 + Hp_8 + Ip_9$$

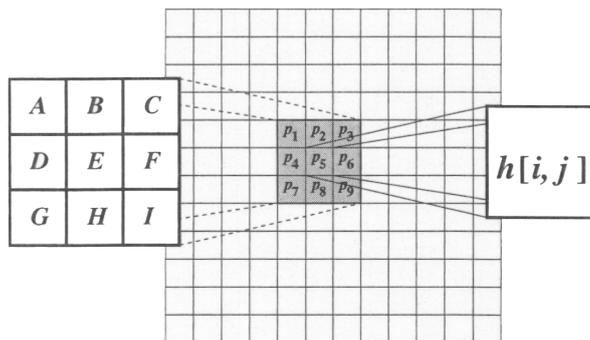


Figura 2.12: Exemplo de Mascara de Convolução.

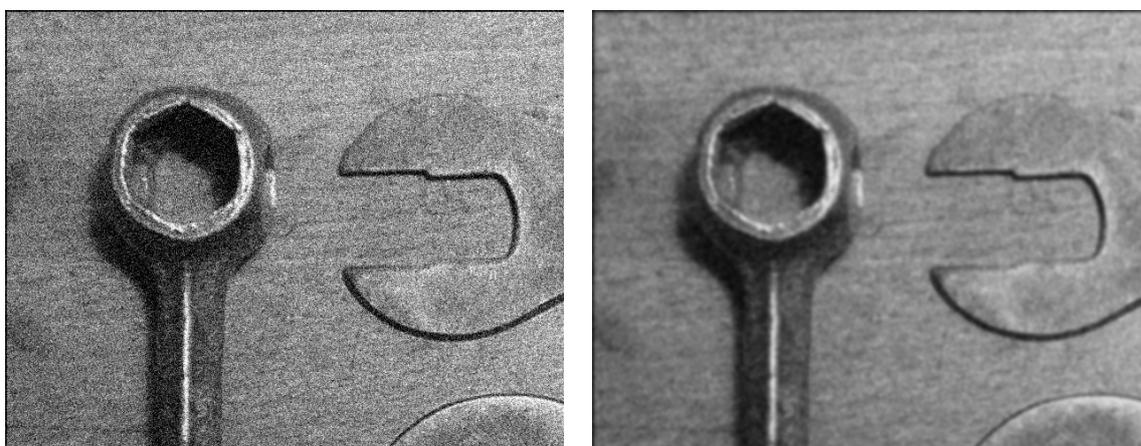
Nesse tipo de filtragem, o tamanho da vizinhança determina o nível de suavização desejada. Um número maior de vizinhos define uma máscara de convolução, que resultará em um nível de filtragem maior, que por sua vez irá remover o ruído de forma mais eficiente, porém desta forma acabará ocorrendo uma maior degradação na imagem original, levando à um *tradeoff* entre quantidade de ruído e qualidade de imagem.

Quando projetamos filtros lineares, os pesos devem ser escolhidos de forma que exista somente um pico e que ele seja simétrico tanto horizontalmente como verticalmente, como por exemplo a Figura 2.13

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Figura 2.13: Exemplo de filtro linear.

Filtros lineares que suavizam são feitos para removerem componentes de alta frequência (filtros passa baixa), porém, além disso, acabam por diminuir a nitidez da imagem. Por exemplo, algo que possui uma mudança brusca de branco para preto, agora passará por tons de cinza, o que obrigatoriamente dificultará precisarmos a localização exata de onde ocorre a mudança de preto para branco. Para resolver este problema, são propostos filtros especialmente variáveis que se ajustam para borrarem menos em áreas com bordas ou trocas bruscas de cores. Um exemplo de imagem filtrada por um filtro gaussiano é mostrado na Figura 2.14.



(a) Imagem original

(b) Imagem Filtrada

Figura 2.14: (a) Imagem original com ruído e (b) Imagem filtrada com filtro gaussiano.

### 2.3.3.1 Filtro *Gaussiano*

Filtros Gaussianos são um tipo de filtro linear e que possuem os pesos definidos conforme a distribuição gaussiana. Como anteriormente citado, este filtro é ótimo para remover ruídos provenientes de ruídos naturais, como da própria câmera fotográfica. A função com media zero é definida pela equação,

$$g(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.10)$$

onde o parâmetro  $\sigma$  determina o quanto estreita é a gaussiana que o filtro irá modelar. Para imagens, que são sinais bidimensionais, utilizamos a equação bidimensional discreta da distribuição normal a seguir,

$$g(i, j) = e^{-\frac{(i^2+j^2)}{2\sigma^2}} \quad (2.11)$$

Esta equação pode ser visualizada na Figura 2.15

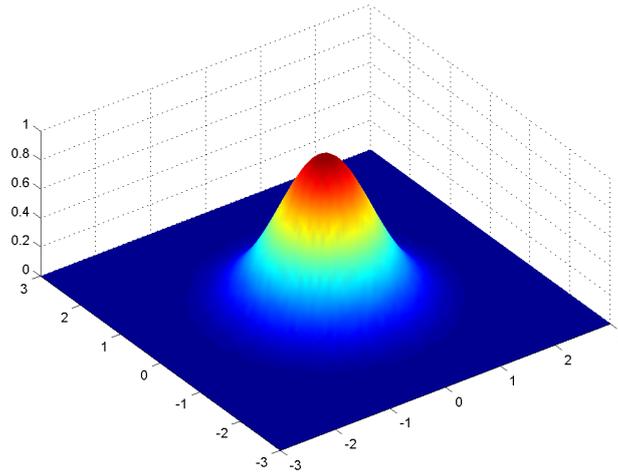


Figura 2.15: Visualização de uma Gaussiana Bidimensional.

Gaussianas possuem algumas propriedades que as tornam particularmente muito úteis para processamento de imagens. Estas propriedades demonstram que ela é um filtro passa-baixas muito eficiente, tanto para o domínio espacial quanto da frequência, e são muito eficientes. Estas propriedades são [4] :

1. São resistentes à rotações devido sua simetria, sendo assim, este filtro irá borrar igualmente para todos os lados, não sendo necessário modificar parâmetros do filtro durante a filtragem. Devido esta característica, uma futura detecção de bordas não seria prejudicada, além do mesmo filtro poder ser utilizado para a mesma imagem só que rotacionada.
2. Possuem um único pico, o que significa que após a filtragem, cada pixel será substituído pela média dos seus vizinhos, onde os pesos dos mesmos vão reduzindo monotonicamente quanto mais se distanciam do pixel central. Desta forma, a presente informação contida naquele pixel não será tão alterada por um valor distante dele.
3. A sua transformada de Fourier também possuirá somente um único pico, pois a Transformada de uma gaussiana é também uma gaussiana.
4. Seu tamanho e o grau de esmaecimento são controlados pelo  $\sigma$ , e a relação entre o  $\sigma$  e o grau de esmaecimento é muito simples, onde um  $\sigma$  maior implicará em uma Gaussiana mais

larga e um maior grau de esmaecimento. Sendo assim, podemos ajustar este parâmetro para atingir o melhor ajuste entre o nível de esmaecimento e o nível de detalhes desejados.

5. Filtros gaussianos muito grandes podem ser implementados de forma muito eficiente, pois as funções gaussianas de duas dimensões podem ser divididas em duas de uma única dimensão, ou seja, podemos aplicar a convolução da gaussiana de duas dimensões convoluindo a imagem original primeiramente com uma gaussiana de uma dimensão, e após isso, pegar a imagem resultante e convoluí-la com uma gaussiana ortogonalmente orientada em relação à primeira.

Além dos itens acima citados, filtros gaussianos podem ser simplesmente projetados a partir do binômio,

$$(1 + x)^n = \binom{n}{0} + \binom{n}{1}x + \binom{n}{2}x^2 + \dots + \binom{n}{n}x^n, \quad (2.12)$$

ou seja, utilizamos a  $n$ -ésima linha do triângulo de Pascal (Fig. 2.16) para gerar um filtro de uma dimensão. Assim, para filtrar uma imagem, basta filtrarmos com o mesmo filtro duas vezes, sendo uma ortogonal a outra.

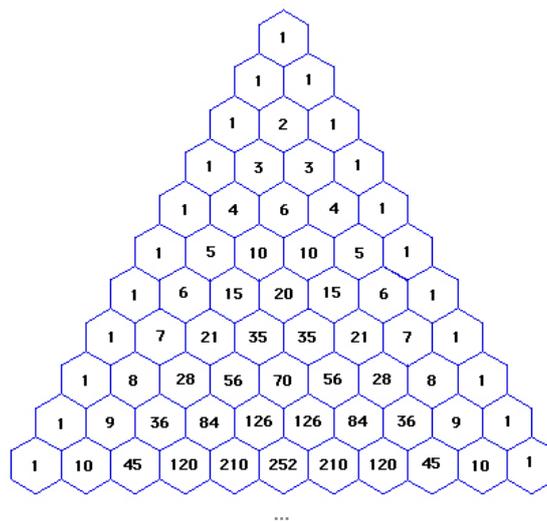


Figura 2.16: Triângulo de Pascal.

### 2.3.4 Binarização

O processo de binarização consiste em transformar uma imagem em tons de cinza e converter cada *pixel* para somente dois valores possíveis de cores distantes na escala de cinza. Normalmente utiliza-se a cor preta (0) e branca (255).

Para transformarmos uma imagem em tons de cinza para binária, devemos estabelecer um limiar  $\psi$ , onde todos os valores abaixo de  $\psi$  serão representados como 0, conhecido também como *background*, e os maiores que este valor devem ser tomados como 255 também conhecido como

*foreground*. Este limiar deve ser bem determinado para efetuar uma binarização correta para que as informações que são alvo de nosso processamento não sejam descartadas. Neste caso, imagens binarizadas acabam por reduzir o espaço de armazenamento de forma à utilizarem somente 1 bit a cada *pixel*. A equação que determina a função de binarização é:

$$g[i, j] = \begin{cases} 0 & \text{para } 0 \leq g_{antigo}[i, j] \leq \psi \\ 1 & \text{para } \psi \leq g_{antigo}[i, j] \leq 255 \end{cases} \quad (2.13)$$

Um exemplo de imagem binarizada com diferentes  $\psi$  pode ser vista na Figura 2.17.

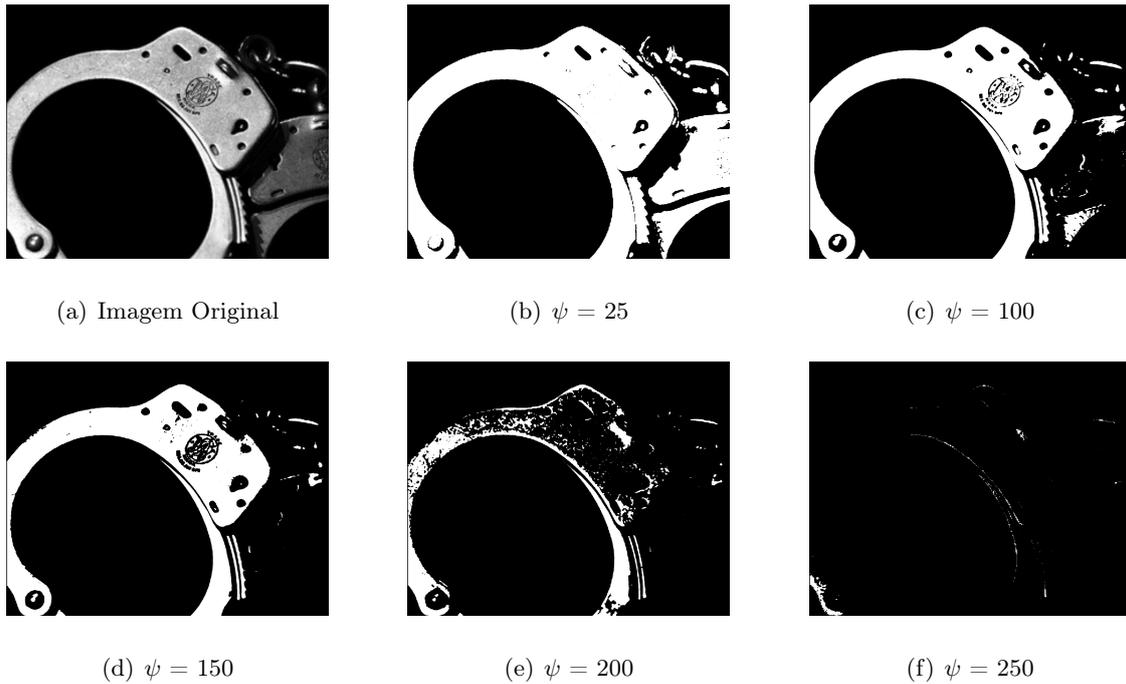


Figura 2.17: Imagens binarizadas com limiares diferentes.

#### 2.3.4.1 Limiar - *Threshold*

Escolher um valor para o limiar pode ser complicado, pois não devemos perder informações. Um método empírico utilizado é observando o histograma. Como podemos observar na Figura 2.18, existem dois grupos de valores distintamente separados. Outro método para escolhermos este limiar é por tentativa e erro, onde efetua-se a binarização a partir de tal limiar e o observador visualmente verifica qual é o melhor. Esta última opção acaba por ser a mais eficaz caso não tenhamos menor noção por onde começar. Um dos métodos iterativos muito utilizado e bem sucedido foi descrito por *Nobuyuki Otsu* [5].

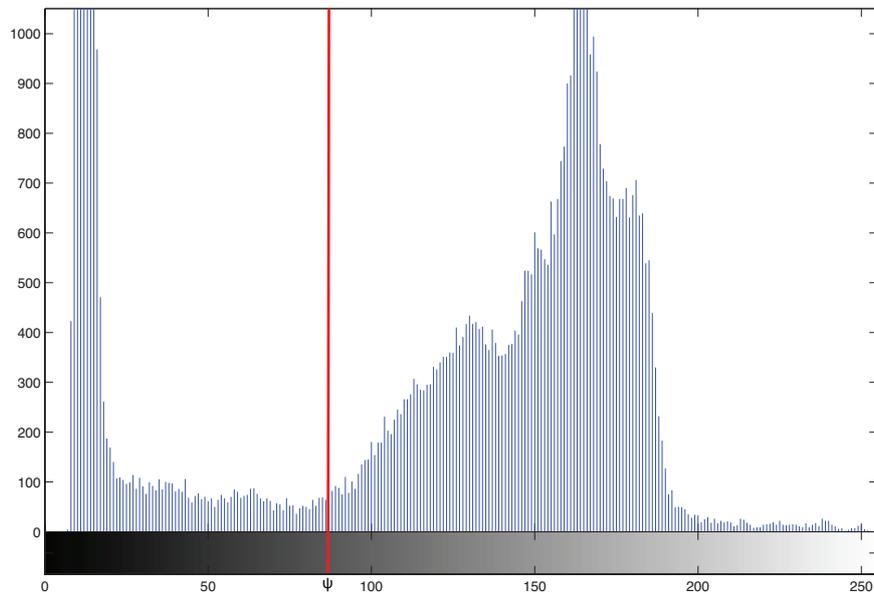
O método de Otsu se baseia em iterar em todos os valores possíveis de  $\psi$  e calculando a medida de propagação (variância) para os valores dos *pixels* de cada lado do limiar estabelecido. O objetivo é achar o valor  $\psi$  onde a variância tanto do *background* como do *foreground* serão mínimas.



(a) Imagem Original



(b) Imagem Binarizada



(c) Histograma da imagem e  $\psi = 88$

Figura 2.18: Exemplo de imagem binarizada por meio do limiar estabelecido pelo método de Otsu.

## 2.4 Codificadores de Imagem

Devido ao avanço da computação e principalmente o surgimento de ambientes móveis, o mundo se deparou com uma quantidade enorme de informações capturadas instantaneamente e então transferidas entre dispositivos. Dentre estas informações, podemos destacar as imagens, as quais fazem grande parte da nossa vida, seja para um trabalho técnico, ou para entretenimento. Estas imagens precisam ser armazenadas, transmitidas, analisadas e processadas. Desta forma a área de compressão de imagens se torna muito importante dentro do processamento digital de imagens,

viabilizando, cada vez mais, a utilização de imagens em maiores resoluções e com melhor qualidade, ocupado menos espaço.

Comprimir uma imagem é distinto de comprimir um arquivo binário convencional. Imagens possuem propriedades altamente correlatadas, as quais podem ser exploradas por codificadores, desta forma possibilitando arquivos mais otimizados que quando utilizamos codificadores de uso genérico em uma imagem. Os codificadores de imagens objetivam aproveitar tais propriedade e, em certos casos, remover a redundância e a irrelevância existente em uma imagem, de forma à transferirmos e armazenarmos o mínimo de informação possível, possibilitando, quando necessário, a reconstrução da imagem original de forma que um ser humano não possa perceber distorções ou falta de informações nela.

Técnicas de codificação tentam remover alguns tipos básicos de redundância, como:

- Redundância espacial, onde os *pixels* vizinhos possuem uma alta correlação
- Correlação entre planos de cores ou espectros de frequência

Dentro do ramo da compressão digital de imagens, existem dois tipos básicos de compressão:

**Lossy** Codificadores *lossy* são aqueles caracterizados pela perda de informação em detrimento do espaço utilizado para armazenar, sendo impossível reconstituir a imagem original após a decodificação.

**Lossless** Codificadores *lossless* são aqueles caracterizados pela manutenção total da informação antes e pós codificação e decodificação, sendo possível recuperar a imagem por completo.

Em geral, codificadores de imagens possuem uma estrutura de sistema muito semelhante, sendo compostos pelos subsistemas:

- **Transformador linear** - Tem como objetivo descorrelacionar o sinal de entrada por meio de uma transformada, levando-o para uma representação onde os valores são limitados, desta forma compactando a informação do sinal em um conjunto pequeno e finito de coeficientes. Dentre as transformadas, podemos citar a DCT (*Discrete Cosine Transform*) [54], DWT (*Discrete Wavelet Transform*) [55] e DFT (*Discrete Fourier Transform*) [56];
- **Quantizador** Um quantizador tenta reduzir ao máximo o número de *bits* necessários para armazenar os coeficientes transformados, no caso dos codificadores *lossy*, reduz-se a precisão dos mesmos, chegando a arredondar valores muito próximos;
- **Codificador de entropia** - São responsáveis por retirar a redundância dos *bits* resultantes da quantização, removendo padrões de *bits* repetidos e trocando-os por identificadores menores. Exemplos de codificadores são Huffman, Aritmético, RLE (*Run Length Encoding*) e LZ (*Lempel-Ziv*)[50].

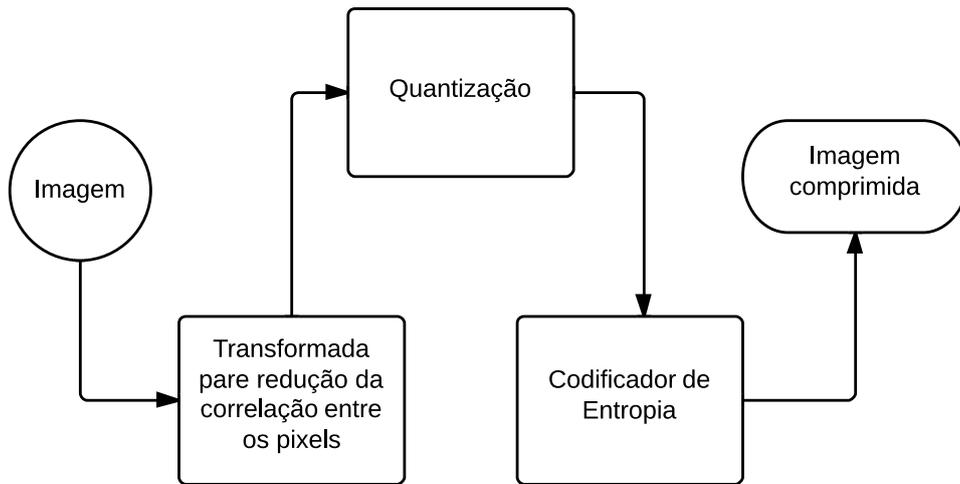


Figura 2.19: Diagrama de blocos do funcionamento de Codificadores de imagem.

Podemos observar o funcionamento e os sistemas envolvidos na Figura 2.19.

A seguir listaremos alguns codificadores utilizados no presente Trabalho, além de exemplo comparativo entre eles, com uma baixa taxa de compressão (Fig. 2.24).

### 2.4.1 JPEG

O JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) [59] é um padrão ISO/ITU-T, para compressão de imagens coloridas, largamente conhecido e utilizado, desenvolvido no final dos anos de 1980. O modo mais comum de operação do JPEG segue a seguinte estrutura descrita a seguir:

- Conversão do espaço de cor de RGB para YCbCr:

O espaço de cor YCbCr são divididos de forma ao Y ser a luminância e Cb e Cr serem a crominância. O RGB é uma mistura de luminância e crominância como sendo atributos da luz. Descrever cores em termos de luminância e crominância separadamente, permitem uma transmissão e processamento mais eficientes dessas cores em diversas aplicações.

Para efetuarmos esta transformação, basta efetuarmos uma simples operação matricial, como descrita na Equação 2.14.

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.334 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

- Divisão em blocos de  $8 \times 8$ , *pixels*, aplicando-se a DCT em cada bloco:

A transformada consiste em selecionar sequencialmente blocos  $8 \times 8$  de cada componente de cor e então levá-las para outro domínio, por meio das operações indicadas na Equação 2.15.

$$F(u, v) = \frac{2}{N} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right] \cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right]$$

(2.15)

para  $u = 0, \dots, N-1$ ;  $v = 0, \dots, N-1$

onde  $N = 8$  e  $C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{para } k = 0 \\ 1 & \text{c.c.} \end{cases}$

- Quantiza-se cada bloco da imagem:

Nesta etapa iniciamos a degradação da imagem, onde dividimos os valores transformados por uma matriz de quantização[40], definida pela Equação 2.16 e em seguida estes valores são então arredondados, objetivando a redução de altas frequências e então sua conversão para 0. Já as baixas frequências devem ser mantidas devido à característica do olho humano ser mais sensível à elas que às altas frequências.

$$F(u, v)_{\text{quantizada}} = \text{round}\left(\frac{F(u, v)}{Q(u, v)}\right)$$

(2.16)

- Codifica-se a imagem quantizada utilizando-se um codificador de entropia:

Nesta etapa, o codificador de entropia tenta efetuar uma redução do tamanho do arquivo por meio da redução de *bits* utilizados para armazenar um componente da DCT. No caso do JPEG, é utilizado uma versão do algoritmo de *Huffman/run-length* [50].

O algoritmo descrito por Huffman, inicia com um conjunto de símbolos, os quais são associados à probabilidades de ocorrência deles, onde tal conjunto é chamado de tabela de frequência. Ela é utilizada, por vez, para construir a árvore de probabilidades, a qual ao ser percorrida definirá a *string* do símbolo comprimido. Esta árvore possui nós, cada um contendo símbolos, a sua frequência de ocorrência, um ponteiro para o nó pai e ponteiros para os filhos tanto da direita quanto da esquerda. A compressão ocorre percorrendo a árvore começando pela folha do símbolo a ser comprimido e então navegar até a raiz. Dependendo do caminho tomado, iremos adicionar um *bit* 1, ou 0 à *string* comprimida. No final invertemos a *string* de *bits*, pois começamos das folhas até a raiz [39].

No caso JPEG, a tabela de frequências de Huffman é estática e faz parte de todo codificador e decodificador JPEG. Além deste codificador, para aproveitar o fato de imagens possuírem uma grande correlação entre os *pixels* vizinhos, também utiliza-se o algoritmo *Run-length*. Este algoritmo se baseia em dada uma quantidade repetida de um determinado valor, armazenamos somente um tupla com o valor e o número de vezes que ele se repete até a ocorrência de um valor distinto. Desta forma, uma sequência "0,0,0,0,0,0,0,0,0" seria representada por somente (0,10) [51].

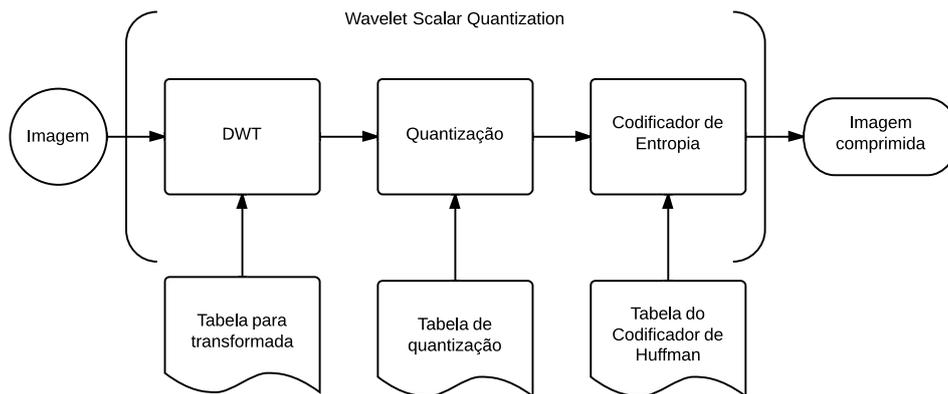


Figura 2.20: Diagrama de blocos do funcionamento do WSQ.

### 2.4.2 WSQ - *Wavelet Scalar Quantization*

O WSQ [52] é um método de compressão de imagens desenvolvido pelo FBI (*Federal Bureau of Investigation*) específico para impressões digitais em níveis de cinza.

Baseia-se em decompor a imagem da impressão digital em um número finito de subbandas, onde cada uma representa a informação em um conjunto específico de frequências. Esta decomposição é efetuada por meio da DWT [52] da imagem da impressão digital, utilizando um conjunto de *wavelets* definidas por uma tabela, a qual será explicada ainda nesta subseção. Após a DWT, é aplicada a quantização, por meio de uma tabela de quantização, onde ocorre a perda de informações. Estes coeficientes então são passados pelo Codificador de Huffman. Podemos observar o funcionamento em diagrama de blocos do WSQ na Figura 2.20.

A DWT é uma transformada linear que opera em um vetor de tamanho inteiro em potência de 2, transformando-o em um vetor com o mesmo tamanho, porém com valores distintos. É uma ferramenta que consegue separar os dados em componentes com frequências distintas, onde cada componente é computado de acordo com a sua resolução em relação à sua escala. A DWT é computada por meio de filtros em cascata seguidos por um fator de subamostragem 2, como podemos observar na Figura 2.21, onde H e L denotam respectivamente filtros de passa alta e passa baixa e  $\downarrow 2$  denota a subamostragem, onde a saída destes filtros são dados pela Equação 2.17. O valor  $a_j$  é utilizado para escalar e transformar os elementos  $d_j$ , os quais são os coeficientes da wavelet, determinando a saída da transformada.  $l[n]$  e  $h[n]$  são coeficientes dos filtros FIR passa baixa e passa alta respectivamente e  $p$  é a variável auxiliar de convolução.

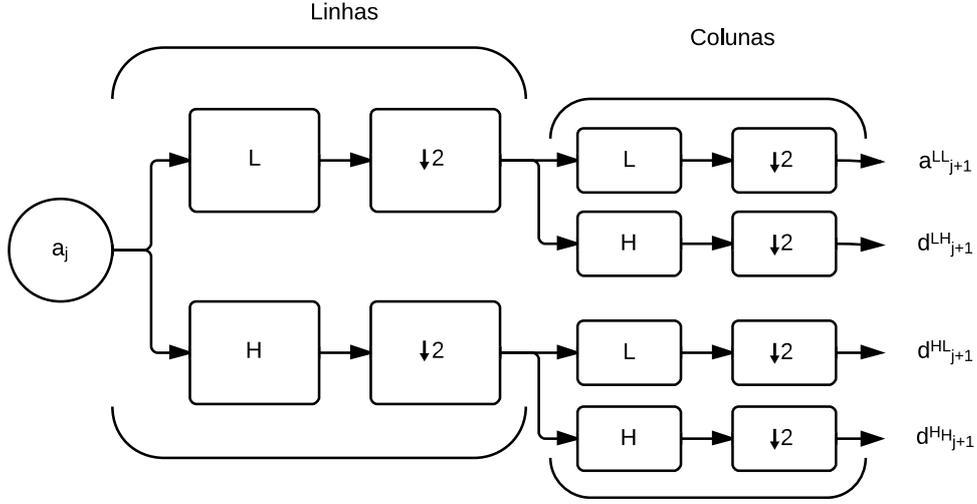


Figura 2.21: Diagrama de blocos dos filtros da DWT.

$$\begin{aligned}
 a_{j+1}[p] &= \sum_{p=-\infty}^{\infty} l[n-2p]a_j[n] \\
 d_{j+1}[p] &= \sum_{p=-\infty}^{\infty} h[n-2p]a_j[n]
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

A principal característica da DWT é a representação multiescalar de uma função por meio de wavelets, desta forma, permitindo a análise de uma função por meio de várias resoluções. Podemos observar a divisão em subbandas na Figura 2.22. Para mais detalhes sobre Wavelets, o leitor pode consultar os trabalhos de Strang e Nguyen [41].

Após a DWT, os coeficientes  $a_j(m, n)$  são quantizados conforme a Equação 2.18, de forma uniforme em cada subbanda.

$$p_j(m, n) = \left\{ \begin{array}{ll} \left[ \frac{a_j(m, n) - Z_j/2}{Q_j} \right] + 1, & a_j(m, n) > Z_j/2 \\ 0, & -Z_j/2 \leq a_j(m, n) \leq Z_j/2 \\ \left[ \frac{a_j(m, n) + Z_j/2}{Q_j} \right] + 1, & a_j(m, n) < -Z_j/2 \end{array} \right\} \tag{2.18}$$

Após esta etapa, os coeficientes quantizados são submetidos ao codificador de entropia de Huffman, previamente descrito.

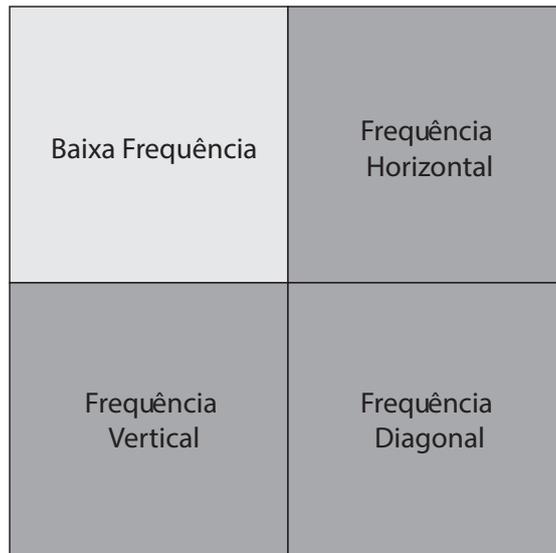


Figura 2.22: Subbandas obtidas pela DWT.

### 2.4.3 JPEG2000

Semelhante ao WSQ, o JPEG2000 [45] também utiliza como transformada a DWT, que ao compararmos com o JPEG, proporciona transições mais suaves e menos efeito de bloco, e contornos mais nítidos, como podemos observar na Figura 2.24(d).

O funcionamento é praticamente o mesmo que o observado no WSQ. A primeira etapa consiste em efetuar a transformação por meio da DWT, onde a maior parte da informação visual passa a concentrar-se em uma quantidade de coeficientes inferior à quantidade de *pixels* existentes na imagem original, possibilitando uma melhor taxa de compressão comparada ao JPEG. Em seguida, os coeficientes são quantizados por meio da DZQ (Dead Zone Quantization) [42] e então codificados por meio do codificador de entropia MQ-coder. Para mais detalhes, é sugerido consultar o trabalho realizado por Taubman e Marcellin [43].

### 2.4.4 H.264/AVC-I

O H.264/AVC é o mais novo padrão pra compressão de vídeos, publicado em 2003 pelo JVT - *Joint Video Team* e VCEG (*Video Coding Experts Group*), onde foi publicado sob a denominação H.264 e MPEG-4 part 10. Este padrão também é chamado de AVC (*Advanced Video Coding*) [53].

Muitas publicações ilustram o desempenho do H.264/AVC, comparando-o com outros codificadores de vídeo, e todos os resultados apontam para uma redução media da taxa de *bits* pela metade, dado o mesmo valor de distorção [60, 61].

Apesar do H.264/AVC ser um padrão de codificação para vídeos, os avanços incorporados a ele não apenas estabelecem um novo patamar de compressão de vídeos, mas como também um excelente codificador de imagens estáticas [47, 48, 49]. Este fato é devido à predição intra-quadro feitas em macroblocos, a otimização taxa-distorção lagrangeana e à codificação aritmética binária

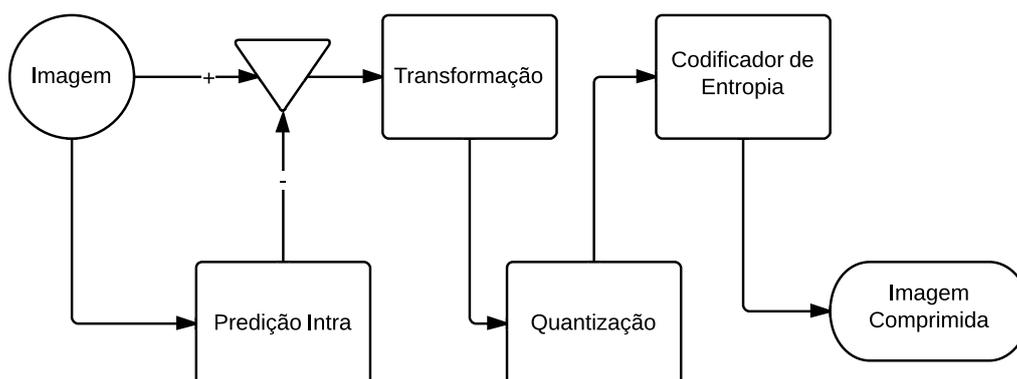


Figura 2.23: Diagrama de blocos para compressão do H.264/AVC-I.

adaptativa baseada em contexto, as quais serão brevemente discutidas ainda nesta subseção. Para podermos utilizá-lo como codificador de imagens, basta configurá-lo para operar apenas um único quadro de vídeo, forçando-o a operar no seu modo Intra, o qual é ilustrado pela Figura 2.23. Este codificador operando especificadamente no modo intra é chamado de AVC-I.

#### 2.4.4.1 Predição Intra

Uma das diferenças que contribuem para o alto desempenho do H.264/AVC é a predição intra, a qual oferece 22 modos de predição para blocos de luminância com tamanhos variados,  $4 \times 4$ ,  $8 \times 8$  e  $16 \times 16$  *pixels* e quatro modos para blocos de crominância com tamanho  $8 \times 8$  *pixels*. Vale lembrar que no presente trabalho não iremos abordar imagens coloridas, sendo assim o processamento da crominância não é abordado. Esta predição intra reduz a redundância espacial, aproveitando-se da correlação espacial entre macroblocos adjacentes.

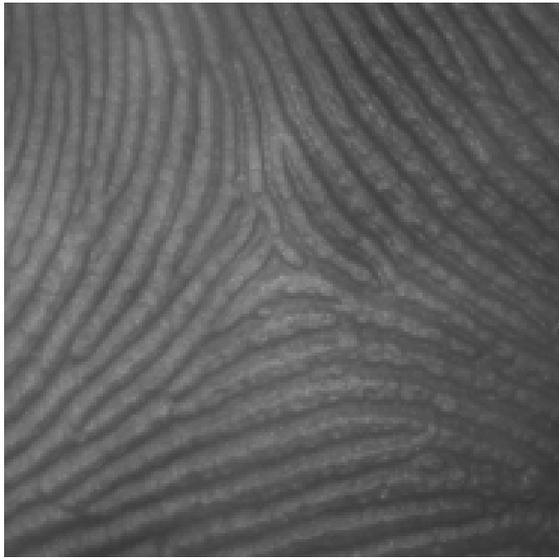
#### 2.4.4.2 Otimização Taxa-Distorção Lagrangeana

Para atingir um maior grau de eficiência, o H.264/AVC utiliza uma técnica não normativa denominada *Rate-Distortion Optimization* para decidir qual modo de predição deve ser escolhido, e para isso ele codifica todos os macroblocos utilizando todos os possíveis modos, e se escolhe aqueles que resultam o menor custo taxa-distorção local. Para mais detalhes sobre o algoritmo de otimização que codifica a componente de luminância de um macrobloco pode ser visto em trabalhos de Sullivan e Wiegand [44].

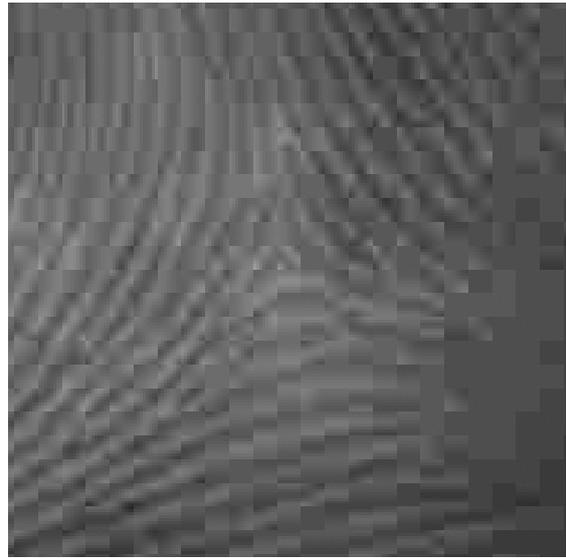
#### **2.4.4.3 Codificação Aritmética Binária Adaptativa Baseada em Contexto**

A codificação aritmética binária adaptativa baseada em contexto (CABAC) é uma das técnicas sugeridas pelo H.264/AVC para a realização da fase de codificação de entropia. Esta técnica além de possuir um alto desempenho computacional, é extremamente eficiente. Baseia-se em três principais fases, as quais serão somente citadas a seguir. Para mais detalhes, o leitor pode verificar o trabalho de Marpe e Schwarz [46].

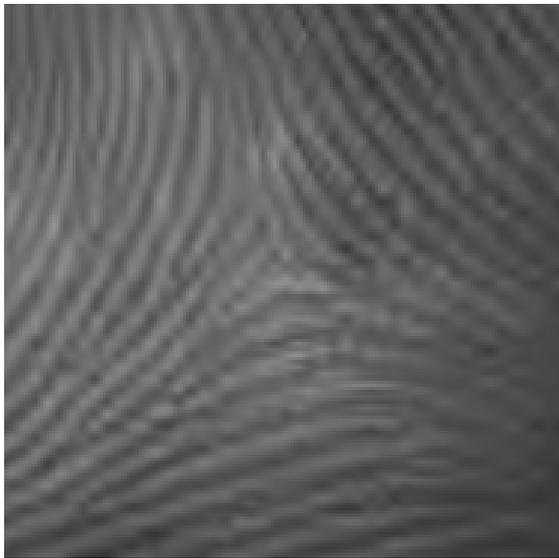
1. Codificação aritmética;
2. Seleção de um modelo de probabilidade baseado em contexto; e
3. Adaptação dos modelos de probabilidade de acordo com as estatísticas locais.



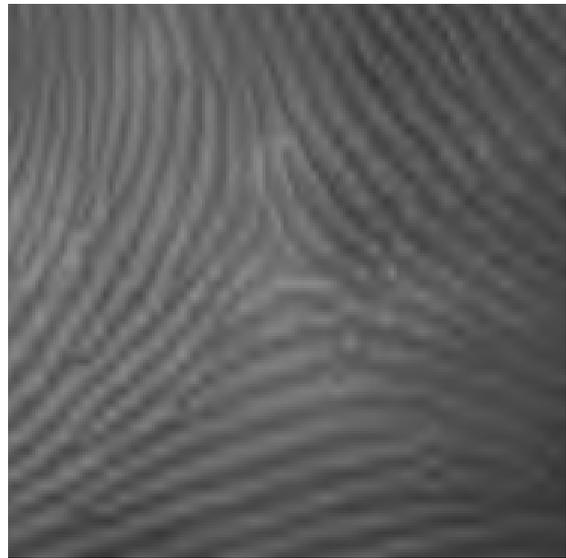
(a) Original



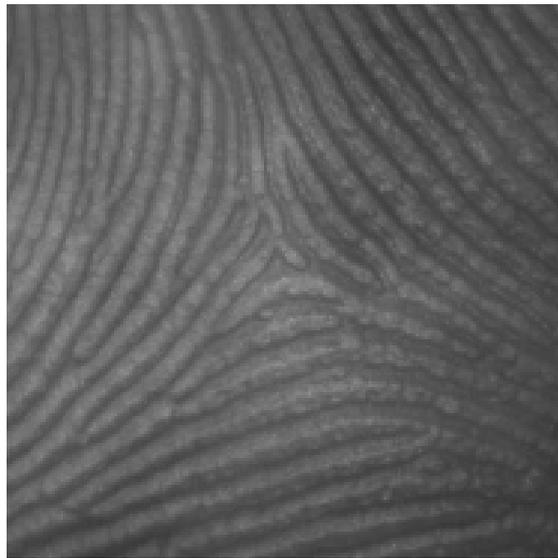
(b) JPEG



(c) WSQ



(d) JPEG2000



(e) H.264

Figura 2.24: Imagens (a) original, (b)-(e) com diferentes codificadores à taxa de 0.1 *bpp*.

## Capítulo 3

# Biometria

### 3.1 Introdução

A autenticação biométrica, ou simplesmente biometria, pode ser definida como a verificação ou o reconhecimento automático da identidade de um indivíduo a partir de características fisiológicas ou comportamentais. Em geral, diferentes sistemas biométricos requerem tecnologia específica, dependendo da característica fisiológica ou comportamental considerada.

As técnicas aqui estudadas são feitas completamente por meio de máquinas, muitas vezes computadores. Técnicas laboratoriais ou forenses, como por exemplo impressões digitais latentes, DNA e análise de fibras, não são consideradas neste estudo por não fazerem parte da definição de biometria.

Neste capítulo visamos apresentar vários aspectos referentes a biometria, mas principalmente as baseadas em impressões digitais.

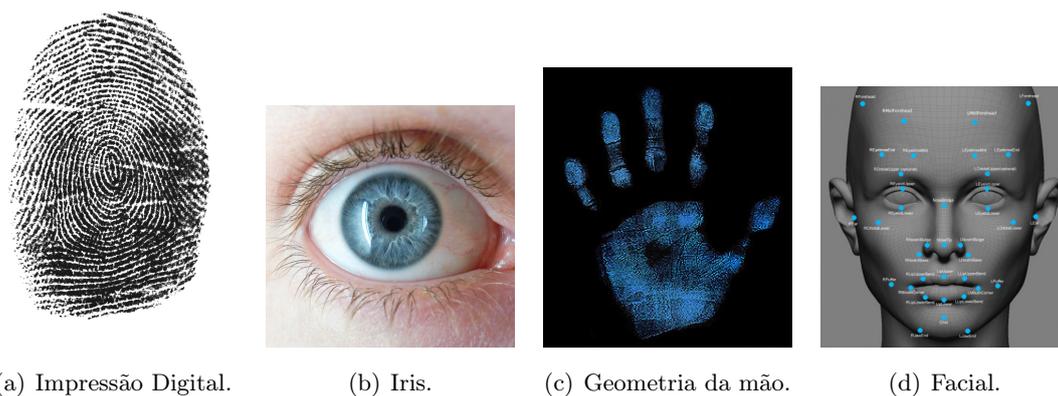


Figura 3.1: Exemplo de biometrias.

### 3.1.1 O que define uma boa técnica biométrica

Atualmente podemos observar a existência de um número vasto de técnicas para identificar o indivíduo a partir de suas características físicas como Impressões digitais, geometria da mão, voz, íris, face, caligrafia e dinâmica de digitação são exemplos dessas características. Esta é somente uma parte da lista de características existentes. Pesquisadores já estão publicando artigos referentes à novos tipos de biometria como por exemplo geometria da orelha, reflexão ótica da pele e odor da pele do indivíduo.

Devido à esta extensa lista de características, foi necessário estabelecer critérios não só para julgar o quão bom é tal sistema biométrico, mas também para avaliar qual tipo de autenticação biométrica é melhor para o cenário atual. São cinco critérios estabelecidos, dentre eles estão [11] [12]:

- **Robustez** - A característica deve ser robusta, por exemplo, não modificar com o passar do tempo para aquele determinado indivíduo.
- **Unicidade** - Esta característica deve possuir grande variância dentre a população, sendo esta característica única para cada indivíduo, ou seja, a probabilidade de existir outro indivíduo com as mesmas características deve tender a 0.
- **Disponibilidade** - Os indivíduos devem possuir múltiplos locais de captura do mesmo tipo de informação, assim impedindo que o sistema sempre funcione, mesmo se o usuário perder algum órgão ou nascer com deficiência física.
- **Acessibilidade** - Os sistemas devem ser simples de implementar utilizando sensores eletrônicos, objetivando uma menor interferência humana.
- **Aceitabilidade** - Os usuários do sistema deverão se sentir confortáveis em possuir esta característica observada e capturada.

Os valores quantitativos destas 5 características foram desenvolvidos e dois deles são altamente relevantes. Robustez é medida pela taxa de falsa negação, conhecido também como **Erro tipo I**, ou seja, a probabilidade de uma amostra não casar com o seu template. E unicidade é medida pela taxa de falsa aceitação, conhecido também como **Erro tipo II**, ou seja, a probabilidade uma amostra submetida casar com um template de outro usuário. Outras taxas também avaliadas são a vazão de captura das amostras e a taxa de falha na captura da digital, respectivamente relacionadas com acessibilidade e disponibilidade.

Baseado nos erros possíveis de ocorrer, administradores de sistemas biométricos devem estar cientes de que erros do tipo I irão causar maior inconveniência, pois o usuário está sendo negado de obter acesso que é seu por direito. Erros do tipo II irão possibilitar a existência de fraudes, onde um usuário passará por outro;

Após identificarmos as qualidades que queremos de um sistema biométrico, baseando-se nas métricas acima descritas, e aplicando os devidos pesos para cada característica, será ligeiramente

mais fácil decidirmos qual sistema biométrico é melhor para nosso cenário. Infelizmente para todas as características biométricas, as qualidades desejadas são altamente dependentes do público alvo, tanto psicologicamente quanto fisicamente, o que acabará influenciando indiretamente no tipo de hardware e software utilizado [13]-[16], sendo assim impraticável prever o funcionamento de um sistema baseando-se em testes efetuados em outros cenários. De qualquer forma, definida uma política de uso do sistema biométrico, definindo padrões de captura e uso, se torna mais fácil a implementação e funcionamento dos sistemas.

### 3.1.2 Taxonomia dos ambientes de aplicação

Um sistema biométrico pode ser projetado para duas situações: as amostras submetidas são de uma pessoa conhecida; ou as amostras são de um indivíduo desconhecido pelo sistema. Estes tipos de aplicações são chamadas de Identificação Positiva e Identificação Negativa respectivamente.

As aplicações de sistemas biométricos podem ser classificadas nestas duas categorias, sendo uma o inverso da outra, onde a dita positiva deve prevenir vários usuários de se identificarem sendo um único indivíduo, e a negativa deve prevenir várias identidades pertencerem à um único usuário. Devido estas definições, algumas características acabam por ser necessárias para implantação destes sistemas, influenciando inclusive a infraestrutura necessária para executar o sistema. Por exemplo, um sistema dito positivo pode utilizar base de *templates* distribuída, podendo inclusive ser armazenada dentro de um *smartcard*, onde uma comparação *one-to-one* será efetuada. Já sistemas ditos negativos é necessário possuir esta base completamente centralizada, sendo necessário efetuar uma comparação *one-to-many*.

Estas duas categorias podem ser subdivididas em outras seis subcategorias, sendo que estas são sempre pares duais, as quais serão discutidas a seguir.

#### 3.1.2.1 Explícito e Oculto

Um sistema onde o usuário sabe que está sendo observado ou o usuário prontamente fornece sua biometria, é dito explícito. Temos como exemplo o sistema de votação biométrico brasileiro, onde o usuário é claramente informado para se identificar biometricamente por meio de sua digital. Já sistemas ocultos, o usuário não tem ideia de que está sendo identificado por meio de suas características biométricas, como por exemplo sistemas de vigilância aeroportuários que possuem identificação facial automática por meio de câmeras de segurança padrão.

#### 3.1.2.2 Supervisionado e não supervisionado

A segunda classificação se refere ao tipo de supervisão dada ao usuário no uso do sistema biométrico. Aplicações supervisionadas normalmente são utilizadas para sistemas que necessitam de alto controle de qualidade na captura das informações biométricas, onde o usuário é altamente instruído como se posicionar e movimentar. Podemos citar, por exemplo, sistema de passaportes da Polícia Federal Brasileira, onde a captura do template é feita de forma altamente supervisionada,

como observamos na Figura 3.2 <sup>1</sup>. Um exemplo de não supervisionada seria leitores biométricos utilizados para academias ou ponto eletrônico utilizado no serviço público brasileiro.



Figura 3.2: Aquisição de impressões digitais Supervisionada pela Polícia Federal Brasileira.

### 3.1.2.3 Controlados e não controlados

A característica sobre controle, é referente ao ambiente e meio que este é utilizado, ou seja, se ele irá funcionar em ambientes fechados, com luz constante a uma temperatura padrão de 21°C, que seria um ambiente considerado controlado, ou ambientes instáveis onde iluminação, temperatura, umidade e outros fatores ambientais não são constantes.

## 3.2 Impressão digital

Um dos métodos mais comuns para autenticação biométrica se dá por meio das impressões digitais, devido à sua robustez, unicidade, disponibilidade, acessibilidade e aceitabilidade, visto que Impressões digitais são praticamente únicas para cada usuário [17], a maioria dos seres humanos não sofrem modificações em suas impressões digitais durante a sua vida, possuímos vários membros que podemos utilizar para o mesmo sistema biométrico, scanners são baratos e acessíveis e acima de tudo, não é constrangedor ou irritante apresentar sua impressão digital para um sistema. Sendo assim, podemos concluir que o sistema biométrico por impressão digital é uma boa escolha para autenticação pessoal. Além deste fator, impressões digitais humanas são facilmente deixadas em locais onde ocorreram delitos, chamadas de impressões digitais latentes (Fig. 3.3), proporcionando assim facilidade para reconhecimento e identificação do criminosos.

### 3.2.1 Histórico

Impressões digitais são mais antigas que imaginamos. Evidências arqueológicas datadas de 6000A.C. demonstram que elas já eram utilizadas na China, Babilônia e Assíria [18] para associar uma pessoa às transações ou eventos. Em 1686 um professor de anatomia da Universidade de Bolonha, Marcello Malpighi, publicou um paper constatando que impressões digitais possuíam cumes, espirais e *loops*, porém ele não se referiu ao fato de utilizar tais informações para identificação

---

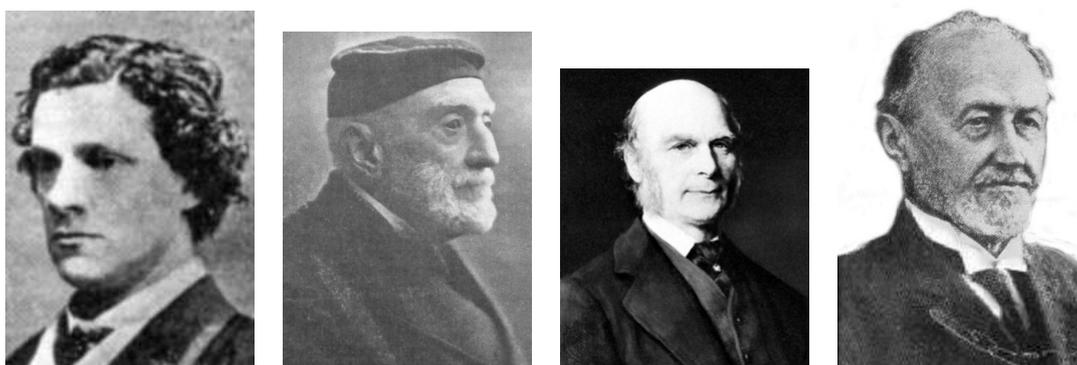
<sup>1</sup>Foto: Christiano Diehl Neto/ Gazeta de Piracicaba



Figura 3.3: Exemplo de impressão digital Latente.

[19]. Já em estudos posteriores efetuados por John Purkinji, professor de anatomia da Universidade de Breslau, é explicitado a existência de nove tipos distintos de impressões digitais, além da possibilidade de se utilizar tais características biométricas para identificação [20].

Após alguns anos, observaram-se esforços para utilização da biometria por meio da impressão digital como forma de identificação, dentre eles podemos destacar:



(a) William Herschel.

(b) Henry Faulds.

(c) Francis Galton.

(d) Juan Vucetich.

Figura 3.4: Precusores da Biometria por impressão digital.

- **Sir William Herschel**, Magistrado Britânico locado na Índia, em 1880 iniciou a utilização de impressão digital para certificar contratos estabelecido com nativos, fazendo-os acreditar mais pela forma supersticiosa que na ciência de identificação [21]. Depois de uma grande quantidade de impressões capturadas, Herschel chegou a conclusão de que poderia utilizá-las para provar ou negar a identidade de uma pessoa.
- **Dr. Henry Faulds**, cirurgião Britânico locado no Japão, após notar marcas de impressões digitais marcadas de tinta em uma antiga poesia, ele começou a se interessar por impressões digitais, as quais estudou e reconheceu o grande potencial para identificação, inclusive propondo um método para classificação dos padrões [22]. Faulds também foi responsável pela primeira identificação, documentada, por meio de impressões digitais latentes deixadas em uma garrafa de álcool. Em 1880, ele enviou seus estudos e métodos para Charles Darwin, o qual acabou repassando o material para seu primo, Sir Francis Galton.

- **Sir Francis Galton**, antropólogo, a partir dos estudos realizados por Faulds, iniciou seu trabalho sistematizado em impressões digitais como meio de identificação ainda em 1880 [23]. Doze anos depois, em 1892, publicou o primeiro livro sobre impressões digitais chamado *Fingerprints* [17]. Neste livro ele embasou cientificamente o que Herschel e Faulds especulavam, o fato destas impressões serem permanentes ao longo da vida e que a probabilidade de duas impressões serem idênticas seria de 1 em 64 bilhões. Galton também desenvolveu um sistema de classificação, chamado hoje de *Galton Pattern Types*. Além disso, ele identificou pequenas características nas impressões digitais, o que chamamos de minúcias, também referidas como *Detalhes de Galton*, as quais ainda são utilizadas para determinar o casamento entre duas impressões digitais.
- **Juan Vucetich**, policial Argentino, iniciou o primeiro preenchimento e organização sistemática de impressões digitais baseando-se nos trabalhos de Galton. Em 1892, ele fez a primeira identificação, por meio de impressão digital, utilizando uma digital latente em sangue, para provar um homicídio.

Oito anos após Vucetich, iniciou-se uma tendência da utilização de impressões digitais. Em 1901, Sir Edward Henry estabeleceu o processo biométrico na Scotland Yard, logo depois, em 1902, criou-se o primeiro sistema biométrico dos Estados Unidos da América, instalado pelo *New York Civil Service Commission* e logo em seguida o primeiro sistema prisional a utilizar biometria, também em New York. Em 1904, com auxílio da Polícia Britânica, iniciou-se o primeiro esforço do desenvolvimento de uma base nacional de identificação, sendo que somente em 1924 foi criada uma divisão específica do FBI, por meio de uma lei, onde todos os dados biométricos criminais baseados no método de Henry seriam guardados. Com o passar dos anos, até 2004, o FBI já conta com um banco de dados de mais de 200 milhões de impressões digitais.

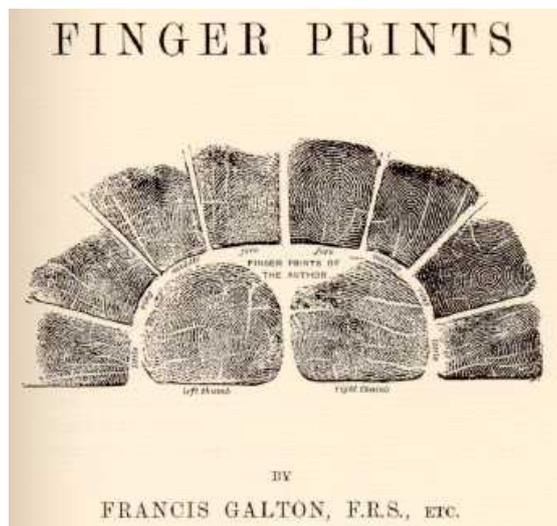


Figura 3.5: Impressões digitais de Francis Galton.

Os sistemas biométricos criados tanto por Henry quanto por Vucetich se baseavam em cartões de papel decadactilares, como inicialmente proposto por Galton, onde as digitais eram coletadas



diretamente pelo FBI. O objeto de pesquisa do NIST foi desde métodos de digitalização dos cartões em papel com tinta, efeitos de compressão na qualidade destas imagens digitais, classificação até casamento entre impressões digitais adquiridas e latentes [25].

- **RCMP** - *Royal Canadian Mounted Police*, já possuía uma base de mais de 1 milhão de impressões digitais por volta dos anos de 1960 e necessitavam de um método para manter o sistema biométrico em funcionamento. A solução foi adaptar, com auxílio de empresas privadas como a Ampex Corporation, métodos automáticos desenvolvidos para ferrovias, que utilizavam fitas de vídeo para armazenar e efetuar pesquisa em dados de forma computacional e autônoma. Este sistema já estava pronto para funcionar no meado dos anos de 1970, sendo caracterizado como o primeiro *AFIS - Automated Fingerprint Identification System*.
- **FBI** - *Federal Bureau of Investigation*, paralelamente ao RCMP e o SRDB, estava investigando maneiras de se automatizar vários sistemas de identificação que possuíam, incluindo o por impressões digitais. Este sistema de biometria necessitava de automação devido ao seu grande fluxo diário de casamentos de 25 mil impressões digitais em uma base de mais de 20 milhões de entradas.

Ainda nos anos de 1960, o FBI assinou contratos de cooperação com empresas a fim de se produzir um protótipo funcional para escanear os cartões decadaactilares. O protótipo ficou pronto no começo dos anos de 1970, o qual após testes de performance, decidiu-se por se adquirir 5 unidades do digitalizador.

- **SRDB** - *Scientific Research and Development Branch*, uma subdivisão do Home Office Britânico (HO), juntamente com empresas de tecnologia, estava iniciando o desenvolvimento de tecnologias para automatizar o processo de biometria por impressão digital. O HO estava dedicado a projetar algoritmos e técnicas necessárias para o NPS (National Police Service) no intuito de implementar o sistema biométrico de forma nacional. Ao mesmo tempo, a *Metropolitan Police Service* juntamente com a Ferranti Ltd., desenvolveram um protótipo funcional para impressões digitais latentes. Este protótipo já era capaz de adquirir digitais, armazenar, buscar e efetuar casamento entre impressões digitais, e futuramente o seu aprimoramento seria denominado NAFIS - *National Automated Fingerprint Identification System*.
- **JNP** - *Japanese National Police* necessitava urgente de um sistema eficiente, pois o seu repositório já possuía mais de seis milhões de registros. A JNP colocou a disposição seu pessoal para trabalhar juntamente com os pesquisadores do FBI e do Home Office. Desta forma, os japoneses acabaram por desenvolver seu próprio sistema, porém contendo conceitos tanto desenvolvidos pelos EUA quanto pelo Reino Unido.

## 3.2.2 Classificação e Casamento dos sistema de Henry

### 3.2.2.1 Classificação

A classificação no sistema de Henry, como foi dita anteriormente, normalmente determina padrões de impressões sendo *Loops* (para direita ou para esquerda), também chamados de Presilhas, *Whorls* (Verticilo) e *Arcs* (Arcos), como podemos observar na Figura 3.7. Após classificarmos dentre estes tipos, esses padrões são subdivididos baseados na presença de nenhum, um ou dois deltas os quais são regiões definidas claramente por franjas em forma trirradial (parecidas com um triângulo). Por definição, arcos não possuem deltas, *loops* possuem um delta e *whorls* possuem dois deltas.

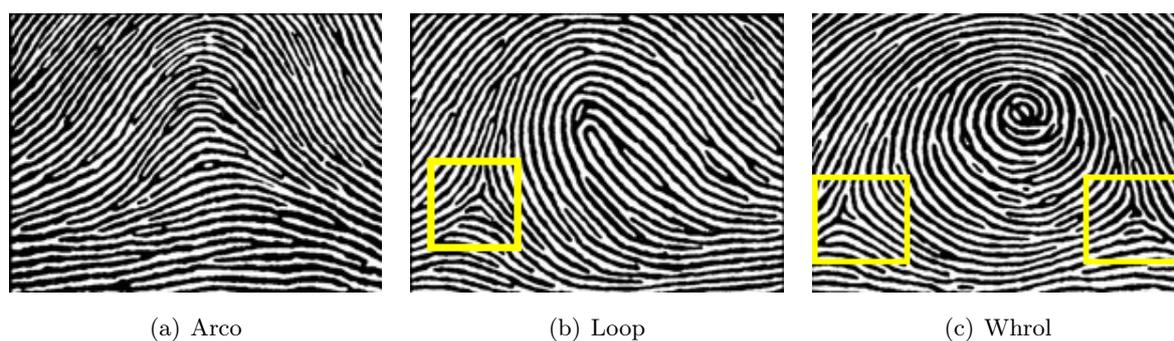


Figura 3.7: Tipos básicos de Impressão digital.

Existem alguns padrões que são ditos transicionais que são usados para efetuar subdivisões. Transições entre arcos e *loops* ocorrem em pequenos *loops* que dão origem para o que chamamos de *tented arch*, os quais possuem uma ponta notável no arco. *Loops* possuem somente um delta e tendem a transacionar para whorl por meio dos padrões C-Whorl e D-Whorl (*Central pocket loop* e *Double loop* respectivamente), os quais podemos ver na Figura 3.8. Estes dois padrões são caracterizados pela presença de dois deltas, mesmo que não muito evidentes.

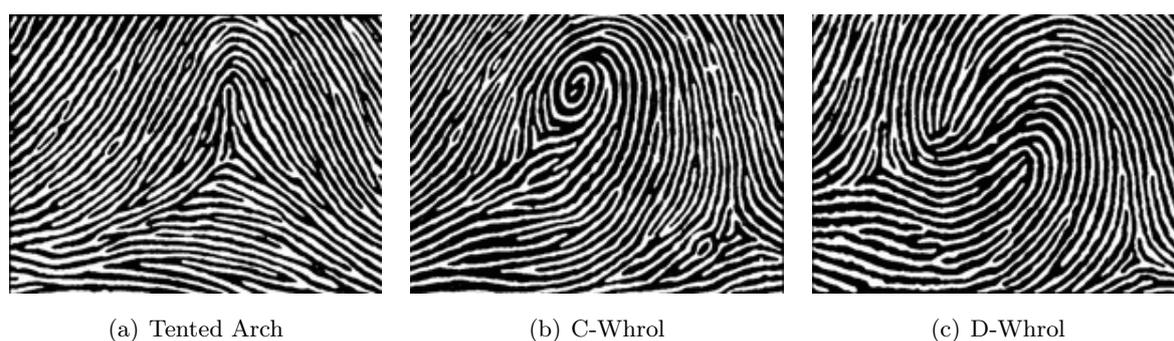


Figura 3.8: Sub tipos de Impressão digital.

Muitas vezes era difícil determinar qual padrão determinado Whorl se encaixava, muitas vezes requeria testes topológicos para determinar se existia uma real recurvação, necessária para existência de um *loop*, ou a presença de um delta, que classificaria como um whorl.

Com o crescimento destas bases de impressões digitais, foi necessário desenvolver outros méto-

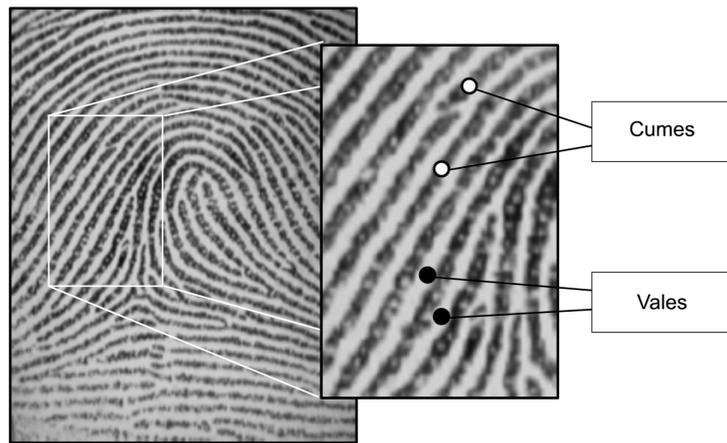


Figura 3.9: Exemplo de cumes e vales.

dos de subdivisão, a fim de facilitar posteriores pesquisas, os quais são muito interessantes, porém vão além do escopo desta Seção.

### 3.2.2.2 Casamento

O casamento se baseava em um exame manual dos detalhes de Galton, onde se utilizava uma lupa ou ainda um microscópio, observando características de todas as impressões digitais contidas no banco e comparando-as com a amostra alvo. Caso as características fossem semelhantes, era identificado o indivíduo. Dificilmente um casamento era dado como verdadeiro se não fosse verdade, visto que os papiloscopistas (profissionais especialistas em impressões digitais) eram altamente treinados além de que eram submetidos à penalidades severas se cometessem algum erro. Mesmo assim, tal casamento poderia não acontecer, devido a uma pré classificação no banco de digitais efetuada de maneira incorreta.

### 3.2.3 Minúcias

Impressões digitais são representações externas da sua epiderme[28], onde a parte rugosa que facilmente conseguimos observar quando olhamos para os nossos dedos, são chamadas de franjas. Estas franjas definem duas formas, chamadas de cumes (partes mais altas) e entre dois cumes existem vales (partes mais baixas). Quando observamos uma imagem de impressão digital os cumes e vales se transformam em preto e branco respectivamente (Fig. 3.9). Estas estruturas podem possuir larguras variando de 100  $\mu\text{m}$  até 300  $\mu\text{m}$ .

Detalhes dos cumes são diferenciados em uma ordem hierárquica de 3 níveis, sendo o primeiro o fluxo dos cumes, o segundo as minúcias e o terceiro detalhes de cada minúcia como poros, formas e etc.

No 1º nível, observamos o fluxo das franjas, ou seja, sua direção e forma, que acabam por formar três tipos de área de nosso interesse como núcleos e deltas (Fig. 3.10). Esta foi a primeira característica observada por Galton. Estas características determinam o tipo básico de impressão

digital que possuímos como *loops*, *arcos* e *whorls*.

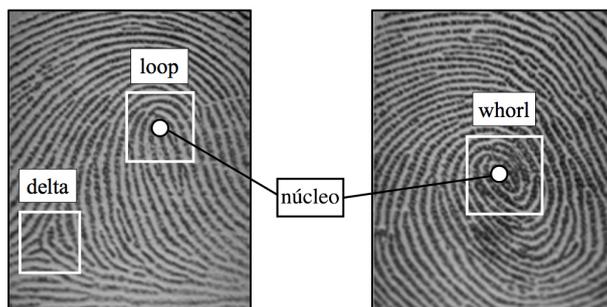


Figura 3.10: Exemplo de impressões digitais com núcleos e deltas.

Em seu segundo nível, já observamos os chamados Detalhes de Galtom, ou como atualmente chamamos, minúcias. As minúcias, por definição, são pontos de descontinuidade das franjas (Fig. 3.11), como por exemplo uma terminação, uma subdivisão em duas outras franjas, ou quando dois cumes paralelos se encontram em um determinado ponto e posteriormente se subdividem.

No terceiro nível observamos detalhes mais finos da imagem, nos quais podemos incluir largura do cume, forma das terminações, pequenas cicatrizes e poros. Uma das características mais notáveis é que todos os cumes de sua epiderme possuem poros, com dimensões de 60 até 250  $\mu\text{m}$ , devido aos canais sudoríparos por toda a sua extensão, os quais são presos a sua derme por protuberâncias, chamadas papilas, de forma única (Fig. 3.12).

### 3.2.4 Áreas de aplicação

Biometria por meio de impressão digital pode ser utilizada praticamente em qualquer local em que se necessita efetuar controle de acesso, porém esta identificação pode servir para várias áreas como por exemplo:

- Forense - Impressões digitais são a biometria mais utilizada para aplicações forenses, sendo utilizada não somente para ligar suspeitos às cenas do crime, mas também para ligar pessoas

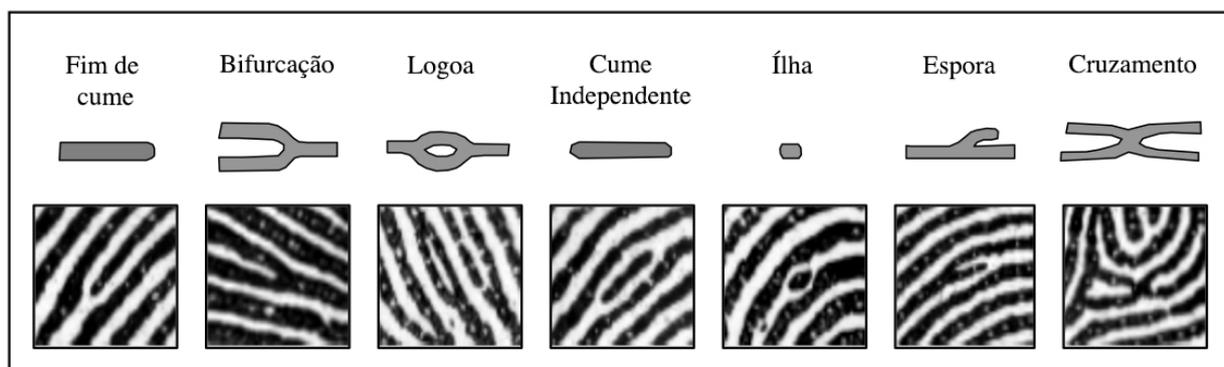


Figura 3.11: Alguns tipos de minúcia existentes.



Figura 3.12: Exemplo de poros contidos em uma impressão digital.

já presas com prisões passadas onde utilizaram outro nome e identificar mortos e associar pessoas à documentos de identificação. Neste tipo de aplicação, muitas vezes utilizam-se digitais latentes deixadas para trás.

- Genética - Este ramo é o precursor da biometria por impressão digital, visto que este método de identificação surgiu dos estudos feitos por Galton. Ainda existem grupos de pesquisa efetivos traçando história genética da população por meio de padrões encontrados nas digitais [24].

Outro ramo da genética que auxilia a medicina e que torna a biometria uma importante ferramenta é na detecção de doenças e defeitos congênitos, os quais podem ser detectados por meio de exames de imagem e podem ser tratados ainda em fase gestacional. Um dos exemplos clássicos é detecção da Síndrome cri-du-chat <sup>3</sup>, onde 90% dos portadores possuem excesso de arcos e pregas simétricas que se unem.

- Comercial e Civil - Como visto mais cedo, arquivos indicam que impressões digitais já eram utilizadas para associar um indivíduo com um evento ou transação, porém não sabemos se as pessoas que utilizavam tal método sabiam que tais digitais poderiam ser utilizadas para identificação ou se somente utilizavam da fé das pessoas.

Atualmente impressões digitais são utilizadas para fins parecidos com os descritos nos arquivos históricos, porém temos certeza que ocorre o processo de identificação. Por exemplo, bancos e caixas eletrônicos já estão utilizando impressões digitais no lugar de senha; Centros comerciais e residenciais também utilizam tal biometria para demarcar quem entrou e quem saiu do prédio. Um dos maiores problemas deste tipo de aplicação é a falta de qualidade de impressão digital adquirida como template, visto que é feita por pessoas com mínima ou nenhuma instrução, onde a área capturada do dedo não possui partes consistentes, tornando assim o processo de localização e identificação de uma pessoa um fator crítico.

- Governamental - Em vários países, incluindo o Brasil, impressões digitais são coletadas quando emitimos nossa carteira de identidade, visando criar uma base de dados para a

---

<sup>3</sup><http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/001593.htm>

polícia civil utilizar em caso de crimes. Outro sistema governamental que utiliza impressões digitais para nos identificar é o Sistema Eleitoral Brasileiro, o qual se tornou obrigatório o uso de digitais no ano de 2014.

### 3.2.5 A tecnologia nos sistemas atuais

Atualmente ainda restam pouquíssimas novas aquisições de impressão digital que utilizam cartões decadaactilares e que são posteriormente escaneados. Estes foram substituídos por equipamentos *live-scan*, ou seja, os quais já efetuam a leitura biométrica diretamente para o computador.

Estes dispositivos podem utilizar diversas tecnologias, como pro exemplo:

- dispositivos ultrassom, que utilizam a mesma tecnologia médica. Este tipo de dispositivo por vez não possui interferência luminosa nem de impurezas e umidade encontrada na pele.
- dispositivos capacitivo, que utilizam um *array* de sensores capacitivos que percebem a diferença de capacitância entre os cumes e vales. Este tipo de sensor, a pesar do seu preço e espaço reduzido, possui grande interferência devida a eletricidade estática, além da umidade impossibilitar o seu uso.
- dispositivos térmicos, que utilizam a mesma tecnologia de câmeras térmicas, medindo a diferença de temperatura, mesmo que ínfima, entre os cumes e os vales. Estes leitores necessitam de no mínimo 1°C de diferença entre o dedo a ser capturado e o equipamento e o tempo entre duas leituras deve ser maior que 1 segundo.
- dispositivos óticos, que normalmente são implementados por meio de scanners óticos utilizando a técnica de FTIR (*frustrated total internal reflection*) [62], a qual se baseia em emitir luz no meio de uma superfície condutora ótica, como plástico, vidro e acrílico, e que quando tocamos em sua superfície, pequenos raios colidem com a nossa impressão digital, refletindo sua imagem que é capturada por um sensor ótico, como podemos ver na Figura 3.13, possuindo por sua vez o melhor custo-benefício. No caso de dispositivos óticos, as imagens podem possuir muito ruído ou inconsistências devido à umidade, elasticidade da pele, segura e condições de iluminação.

Com o objetivo de popularizar a biometria e assim torna-la mais acessível à população, o método ótico foi escolhido pelos órgãos governamentais e entidades, como por exemplo o ANSI e NIST, inclusive determinando requisitos mínimos[26] para o funcionamento dos AFIS. Dentre estes requisitos podemos destacar a resolução do scanner, a qual deve ser de no mínimo 500 DPI, possibilitando a captura das minúcias sem seus detalhes. No caso de necessidade de captura de detalhes das minúcias, como por exemplo poros, é recomendado scanners com no mínimo 1000 DPI.

Devido sua característica ótica possuir ruídos, estas imagens devem ser pós processadas para a correta extração das minúcias de forma automatizada. Este préprocessamento, que será explicado

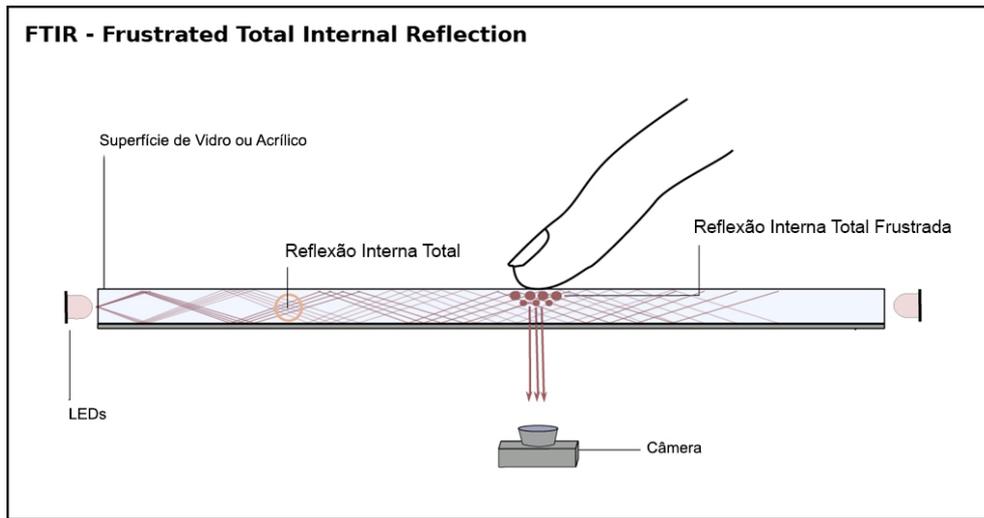


Figura 3.13: Funcionamento do FTIR.

na subsecção seguinte, deve ser capaz de produzir imagens onde a diferença entre os cumes e vales está mais evidente possível, mantendo as propriedades originais do dedo.

### 3.2.5.1 Técnicas para melhora da imagem adquirida

1. **Aumento de contraste local** - Esta etapa é útil para normalizar os valores dos *pixels* da imagem em relação à uma média global, ou seja, efetua-se uma equalização de histograma. Neste caso computa-se a média global do valor dos *pixels* e então calcula-se a média local e a variância para uma vizinhança de  $15 \times 15$  *pixels*. O ganho de cada *pixel* é calculado utilizando a fórmula a seguir da forma  $1.0 \leq \text{GanhoDoPixel} \leq 5.0$

$$\text{GanhoDoPixel} = \text{GanhoGlobal} \times (1/\sqrt{\text{VariânciaLocal}}) \quad (3.1)$$

onde,

$$\text{GanhoGlobal} = \text{CorrecaoGlobal} \times \text{MediaGlobal} \quad (3.2)$$

Onde a correção global é determinada empiricamente, porém normalmente definida como 0.5. A nova intensidade pra cada *pixel* é calculada utilizando o *GanhoDoPixel* e a *MediaLocal* seguindo a seguinte equação

$$\text{NovoPixel} = \text{GanhoDoPixel} \times (\text{PixelOriginal} - \text{MediaLocal}) + \text{MediaLocal} \quad (3.3)$$

Podemos ver o efeito desta equalização na Figura 3.14.

2. **Filtragem Contextual** - Esta etapa é utilizada para limpar a imagem em si, afim de separar, por meio de um filtro ortogonal aos cumes, as paralelas franjas que ficaram juntas e

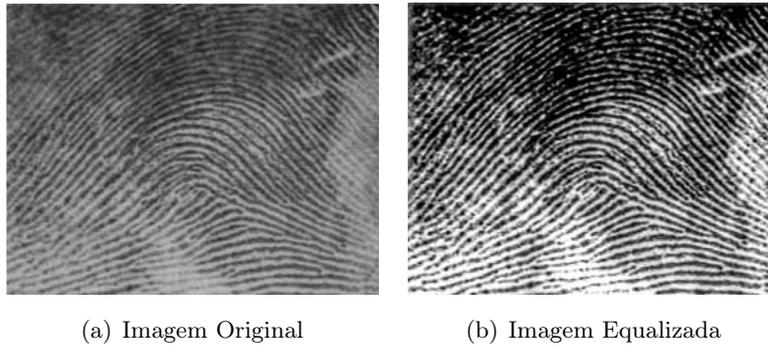


Figura 3.14: Imagem original e pós equalização local

unir franjas que foram brevemente separadas por conta de ruídos existentes no processo de aquisição.

Normalmente utilizamos o filtro de Gabor[27, 28], os quais podemos selecionar tanto orientação quanto frequência de filtragem. Desta forma estes filtros possuem a habilidade de minimizar a largura de banda necessária, maximizando a resolução espacial[29]. Podemos ver um exemplo do Filtro na Figura 3.15(a) e o resultado da filtragem (Fig. 3.15(b)) efetuada sobre a imagem previamente equalizada (Fig. 3.14(b)).

Deve-se tomar cuidado com qualquer tipo de processamento a ser efetuado em cima das imagens adquiridas, pois eles podem não somente estragar as imagens adquiridas, mas também podem acabar gerando minúcias falsas.

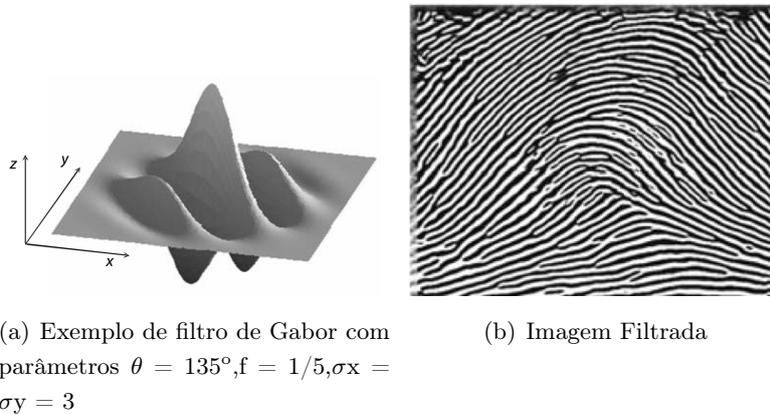


Figura 3.15: Exemplo de filtro de Gabor e impressão digital resultante da filtragem.

### 3.2.5.2 Extração de minúcias

**Extração de minúcias** A maior parte dos métodos existentes de extração de minúcias requerem que as impressões digitais estejam em tons de cinza para posteriormente serem binarizadas. Alguns processos de binarização trazem grandes benefícios para a detecção de minúcias. Porém alguns algoritmos de melhora de imagem já produzem imagens binárias. Independente do método, ao

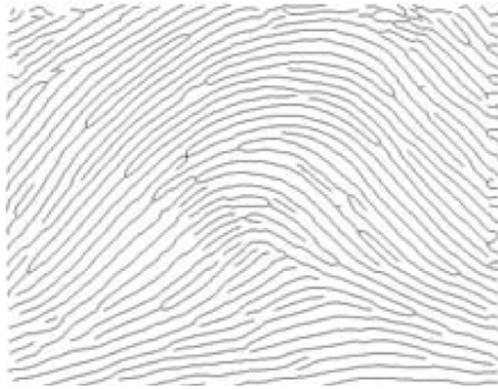


Figura 3.16: Impressão digital após algoritmo de *thinning*.

obtermos imagens binárias, estas são submetidas à algoritmos de *thinning*, o qual tem por objetivo efetuar sucessivas erosões nas franjas até ficarem somente o esqueleto da impressão digital, ou seja, as franjas devem possuir 1 *pixel* de espessura[30], como podemos observar na Figura 3.16. Neste caso foi utilizado um algoritmo proposto por Rosenfeld[32], o qual examina blocos de  $3 \times 3$  *pixels*, indo da margem superior direita até a margem inferior esquerda, para decidir quando o *pixel* central deve ser preto (Cume) ou branco (Vale). Exemplos de como as vizinhanças devem ser para se determinar um cume estão na Figura 3.17(a)-3.17(d). Também é importante definirmos quando um cume termina, e para isso utilizamos vizinhanças da Figura 3.17(e)-3.17(h).

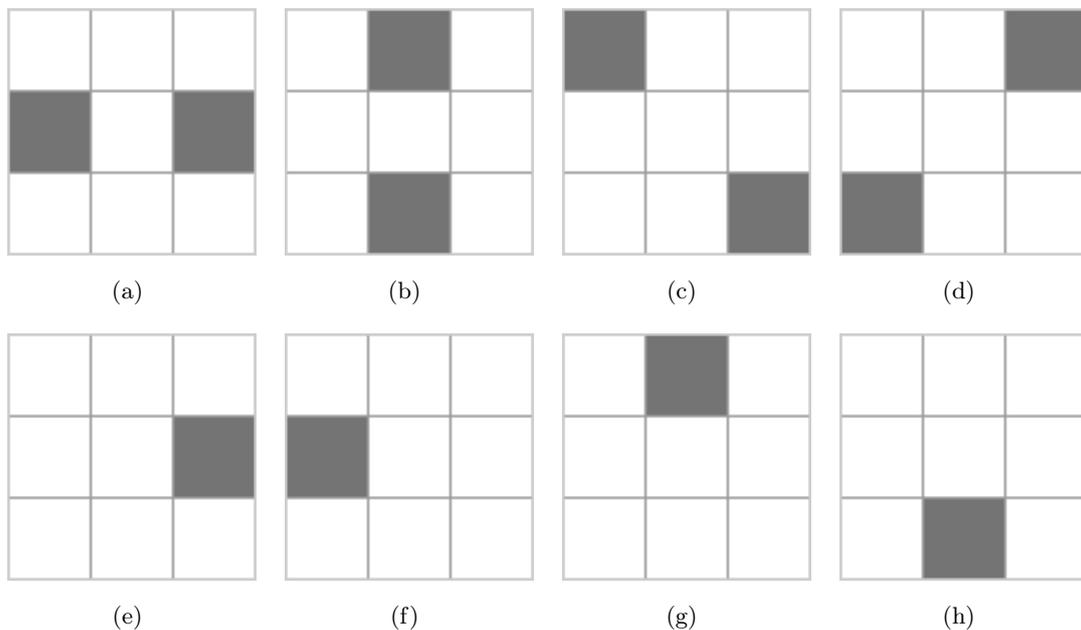


Figura 3.17: Exemplo de vizinhanças utilizadas pra determinar cumes (a)-(d) e determinar o fim dos cumes (e)-(h).

Uma vez que possuímos a impressão digital esqueletizada, efetuamos a detecção de minúcias utilizando outro conjuntos de mascaras de  $3 \times 3$  *pixels* mostradas na Figura 3.18. Uma vez que já possuímos o conjunto de minúcias, podemos extrair outras características como a confiabilidade das minúcias, quantidade de cumes e a localização de núcleos e deltas. Estas características poste-

riormente adquiridas podem ser úteis para analisarmos a qualidade da impressão digital adquirida além de facilitar a busca em um banco de dados.

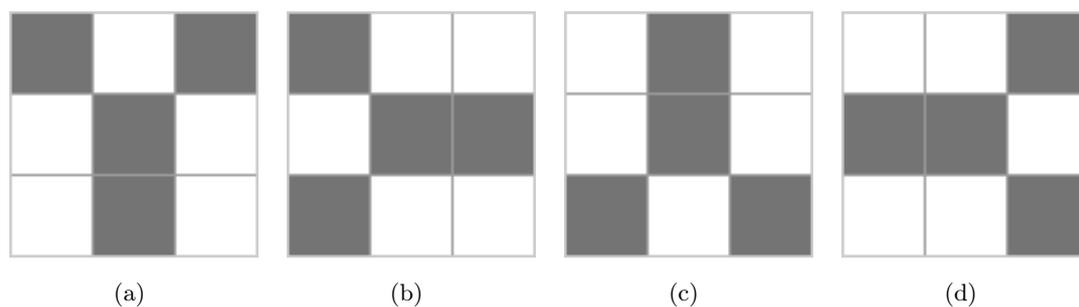


Figura 3.18: Máscaras utilizadas para detecção de minúcias.

É importante ressaltar que outros autores [31] propuseram algoritmos de extração de minúcias que utilizam a imagem em escala de cinza, não necessitando o processo de binarização e nem de *thinning*. Esta abordagem é motivada por:

- Informações relevantes podem ser perdidas no processo de binarização das imagens;
- Algoritmos tanto de binarização quanto de *thinning* gastam tempo de processamento, o qual se torna relevante em largas bases de impressões digitais.
- No caso de não possuímos a imagem original, a maioria das técnicas de binarização não produzem resultados desejados em imagens de baixa qualidade.

### 3.2.5.3 Classificação de impressões digitais

A classificação de impressões digitais é feita para facilitar não somente uma posterior busca, mas também quando efetuamos uma verificação de um usuário, reduzindo drasticamente a quantidade de impressões digitais as quais devem ser comparadas com a amostra atual. Estes sistemas de classificação devem ser capazes de avaliar em qual subgrupo tal impressão digital deve ser armazenada, ou seja, se ela é um *loop*, arco ou *whrol*, por exemplo. Os algoritmos em estado da arte são capazes de classificar corretamente 99% das impressões digitais corretamente.

Esta classificação pode ser efetuada por meio de classificadores treinados para reconhecer determinados padrões. Os padrões de delta e núcleos são normalmente detectados utilizando o método descrito por *Poincaré* [34, 35], o qual procura determinar a orientação das franjas por meio das vizinhanças, como podemos observar na Figura 3.19. Após determinados os pontos de interesse (deltas e núcleos), aplicamos uma série de regras, como por exemplo: Arcos não possuem deltas ou *loops*, *whrols* possuem dois deltas e dois *loops* e etc. Estas regras por sua vez podem ser inseridas em uma rede neural artificial, deixando-a decidir qual tipo de impressão digital estamos processando.

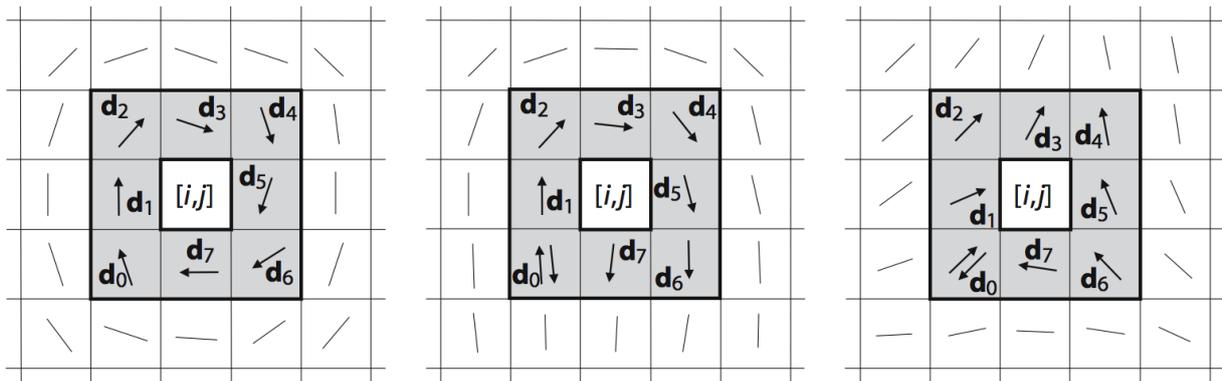


Figura 3.19: Exemplo de análise de vizinhança para o algoritmo de Poincaré.

### 3.2.5.4 Matching

*Matching* automático de impressões digitais é utilizado em sistemas AFIS desde 1970 para identificar suspeitos em uma determinada cena do crime sem prévio conhecimento dos suspeitos. Antes da década de 70, era impossível efetuar tais identificações, logo só eram coletadas impressões digitais de crimes realmente importantes, devida à grande quantidade de pessoas necessárias para conseguir efetuar uma pesquisa na base de dados.

O problema de efetuar casamentos de minúcias é um problema de casamento de padrões extremamente complicado devido à sua natural variabilidade em diferentes amostras do mesmo dedo. Dentre estes problemas que causam a variabilidade, podemos citar:

- Deslocamento - O mesmo dedo pode ser facilmente colocado, mesmo que na mesma direção, em diversas posições durante a aquisição;
- Rotação - O mesmo dedo pode estar rotacionado com diferentes ângulos;
- Sobreposição Parcial - Deslocamento ou rotação do dedo, dependendo da área do sensor utilizado, pode impedir que partes importantes do dedo sejam capturadas, impossibilitando muitas vezes de se identificar um sujeito corretamente.
- Pressão e condições da pele - Devido à característica natural do dedo e do sensor de captura, a estrutura dos cumes será planificada de forma uniforme na superfície de contato. Quando aplicamos pressão sobre a superfície, secura, doenças, suor, sujeira, oleosidade e umidade, resultarão, a cada amostra, impressões digitais com diferentes ruídos, inclusive dependendo da quantidade de ruído, podem surgir minúcias que não existiam.
- Algoritmos de extração de minúcias - Estes algoritmos são imperfeitos e de vez em quando acabam inserindo erros durante o processo. Outro algoritmo que pode acarretar erros nesta fase é o de préprocessamento (melhoramento), o qual pode adicionar inconsistências que modifiquem a localização ou direção de uma determinada minúcia.

Este problema pode ser descrito matematicamente[28] considerando **A** e **B**, impressão a ser



Figura 3.20: Exemplo de *matching* sendo efetuado.

testada e impressão digital alvo respectivamente, e cada minúcia  $m_i$  é descrita por uma tripla de suas coordenadas  $x$  e  $y$  e a sua orientação  $\theta$ , ou seja:

$$A = \{m_1, m + 2, \dots, m_m\}, m_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}, i = 1..m \quad (3.4)$$

$$B = \{m_1, m + 2, \dots, m_n\}, m_i = \{x_j, y_j, \theta_j\}, j = 1..n \quad (3.5)$$

e definirmos que duas minúcias estão espacialmente dentro de uma margem de erro  $d_0$  e que a direção destas minúcias estão dentro do limite de tolerância  $\theta_0$ , onde estes valores são definidos baseado nas características ruidosas explicadas nesta subseção.

$$|x_j - x_i| \leq d_0 \text{ e } |y_j - y_i| \leq d_0 \quad (3.6)$$

$$\min(|\theta_j - \theta_i|, 360 - |\theta_j - \theta_i|) \leq \theta_0 \quad (3.7)$$

Caso as duas equações acima sejam verdadeiras, é definido que foi efetuado um casamento entre as duas minúcias. Podemos ver este efeito ocorrendo na Figura 3.20.

Então devemos efetuar tal operação para todas as minúcias contidas na imagem, de forma a gerarmos um mapa de casamento onde caso ocorra o casamento teremos o valor 1 e caso contrário 0. Com este mapa de casamento em mãos, basta somarmos o número de 1's e caso este número seja maior que um limiar  $\tau$ , determinaremos que as duas impressões digitais são semelhantes e portanto do mesmo indivíduo, possibilitando a identificação de maneira correta.

Ná literatura de reconhecimento de padrões, o problema de casamento de minúcias já está basicamente resolvido como *point pattern matching*.

De forma leiga, podemos enxergar o casamento de minúcias como o experimento de pegar duas folhas de papel com as impressões digitais nelas e as sobreponhamos de forma a tentar encaixá-las corretamente uma em cima da outra, e caso encaixem, considerariamos a mesma impressão digital.

### 3.2.5.5 Verificação de Taxas de Erro

Na Seção 3.1.1, definimos dois tipos de erros de verificação, sendo eles o **Erro tipo I**, referente à taxa de falsa negação, e o **Erro tipo II**, referente à falsa aceitação. Definiremos A e B, impressão a ser testada e impressão digital alvo respectivamente e então definiremos as seguintes hipóteses ( $H_i$ ) e decisões ( $D_i$ ):

- $H_0$  A  $\neq$  B, as impressões digitais são de dedos diferentes;
- $H_1$  A = B, as impressões digitais são do mesmo dedo.
- $D_0$  : Não Casam;
- $D_1$  : Casam.

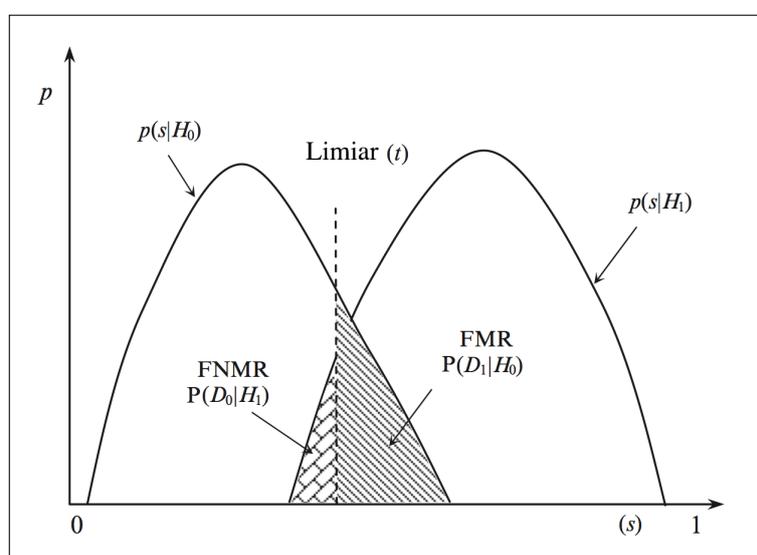


Figura 3.21: Representação da FNMR e FMR.

A verificação envolverá efetuar o casamento entre A e B utilizando algum método de similaridade  $s(A, B)$ , onde, se o resultado de tal função for menor que um limiar  $\tau$ , teremos a decisão  $D_0$ , caso contrário, teremos  $D_1$ . O objetivo deste experimento é verificar a existência de ruídos no canal entre o dedo do indivíduo e o casamento de informações, onde  $H_0$  é a hipótese de termos recebido somente ruído (dedo que não confere) e  $H_1$  de termos recebido o ruído proveniente do canal juntamente com o dedo correto, ou seja, Erro tipo I e tipo II respectivamente.

A taxa de falsa Aceitação (FMR - False Match Rate) é a probabilidade de um erro tipo I ocorrer, e a taxa de falsa não aceitação (FNMR - False Non Match Rate) é a probabilidade de um erro tipo II ocorrer, ou seja,  $FMR = P(D_1|H_0)$  e  $FNMR = P(D_0|H_1)$ .

Para aferirmos um método biométrico devemos obter estes valores de uma base de dados de dados maior possível, efetuando o casamento do dedo com várias amostras do mesmo dedo ( $p(s|H_1)$ ) e posteriormente com varias de outros dedos ( $p(s|H_0)$ ). Podemos observar graficamente as taxas FMR e FNMR na Figura 3.21.

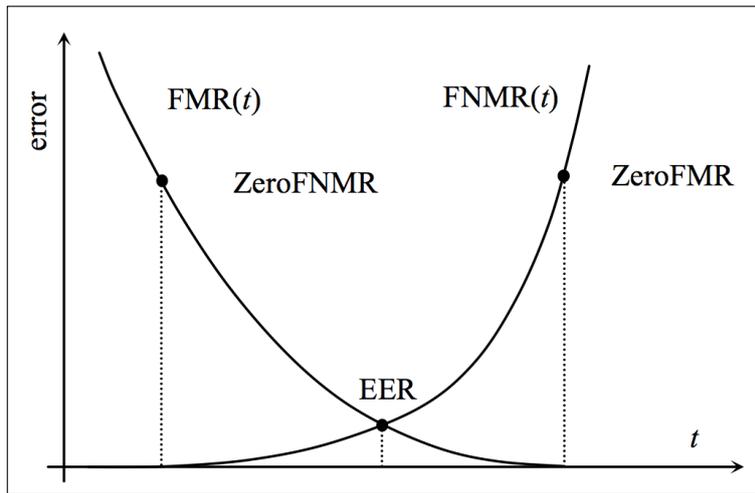


Figura 3.22: Exemplo de curva DET para determinação dos pontos de interesse como o EER, ZeroFNMR e o ZeroFMR.

Uma das coisas que precisamos notar baseado-se na Figura 3.21, é que tanto a FMR e FNMR são dependentes do limiar  $\tau$  definido, ou seja, dado o mesmo conjunto de amostras, se reduzirmos o valor de  $\tau$  para tolerarmos mais ruído, então a FMR aumentará e se caso aumentarmos o valor de  $\tau$  para tolerarmos nenhum ruído, então a FNMR aumentará. Desta forma, o valor de  $\tau$  deve ser escolhido de uma forma ótima a obtermos a melhor performance do sistema. Isto é feito plotando as curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*) ou DET (*Detection-Error Tradeoff*) pois ambas as curvas são invariantes ao limiar, permitindo assim efetuarmos a comparação entre diferentes sistemas biométricos baseados em Impressões digitais.

A curva ROC é o plot da FRM contra  $(1-FNMR)$  para vários valores de  $\tau$ . Já a curva DET é o plot da FMR contra a FNMR, possibilitando uma visualização mais direta de qual limiar devemos escolher para o sistema que estamos projetando, podendo definir se queremos zerar os falso positivos (definido como ponto ZeroFNMR) ou se queremos zerar os falsos negativos (definido como ZeroFMR).

Um dos índices mais importantes para resumirmos e compararmos diretamente os sistemas e escolhermos um limiar ótimo é por meio do EER - *Equal Error Rate* (Fig. 4.2), o qual denota qual a taxa de erro onde o limiar  $\tau$  é a mesma tanto para falsos positivos quanto para falsos negativos ( $FNMR = FMR$ ). É importante ressaltar que o EER nunca será um valor exato, porém uma faixa devido à taxa de amostragem [33].

## Capítulo 4

# Impressões Digitais Sem Contato

### 4.1 Introdução

Neste capítulo visamos apresentar a tecnologia biométrica de impressões digitais sem contato (*Touchless*) multivista (*Multiview*). Tal tecnologia apresenta vantagens tecnológicas e operacionais incontestáveis quando comparadas ao modelo tradicional, também chamadas 2D ou com toque, baseados em rolagem e contato do dedo com a superfície de captura.

Como vimos brevemente na Seção 3.2.5.4, existem problemas inerentes ao método de captura por meio do toque. Dentre tais problemas destacamos:

- **Inconsistência entre capturas** - Procedimentos tradicionais de aquisição de impressões digitais exigem que o usuário posicione ou role o dedo sobre uma superfície de aquisição. Desta forma, o usuário deve aplicar uma força para garantir que o dedo se deforme e que as franjas façam contato com a superfície de captura. Como a força aplicada é diferente à cada captura, acabamos por gerar inconsistências entre o *template* e a amostra.
- **Impressões digitais latentes** - O contato com o dispositivo de aquisição transfere para a superfície de captura sujeiras, suor, gordura e principalmente impressões digitais latentes. Desta forma acabam por se gerar dois problemas, um deles é que em próximas capturas, estas impurezas deixadas na superfície podem gerar inconformidades na leitura, necessitando uma limpeza frequente do dispositivo. Outro problema relativamente preocupante, que aumenta a vulnerabilidade do sistema, é que por meio de ferramentas mecânicas e químicas, conseguimos extrair a impressão digital do equipamento e construir uma cópia das franjas em látex, possibilitando assim uma infração.
- **Contato não uniforme** - Este problema ocorre devido à problemas de secura da pele, franjas desgastadas, doenças de pele, sujeira e umidade do ar.
- **Escorregamento do dedo** - Devido à oleosidade do dedo, quando pressionamos o dedo no leitor, possivelmente o mesmo escorregará, desta forma obtendo uma captura borrada da impressão digital.

- **Presença de Halo** - Mesmo que pouco provável de acontecer em países tropicais, devido à diferença de temperatura entre o dedo e o dispositivo, pode ocorrer a presença de um halo ao redor do dedo na imagem capturada.

Baseado nestes fatores acima listados, parte dos algoritmos de casamento de impressão digital procuram compensar parcialmente estes problemas, principalmente distorções da pele. Ao longo dos anos, estes algoritmos foram continuamente aperfeiçoados, porém estavam sempre limitados devido a tecnologia de captura, ainda mais se estes sistemas não fossem operados por usuários treinados. Desta forma, se faz necessário uma tecnologia capaz de resolver tais problemas durante a aquisição, possibilitando a utilização e a disseminação da biometria por impressão digital em todos os âmbitos. Sendo assim, equipamentos de aquisição sem contato, baseados em reflexão, utilizando a abordagem multivista, representam uma solução muito interessante.

## 4.2 A tecnologia Sem Toque

A tecnologia sem toque para impressões digitais se mostra muito eficiente no âmbito de resolver problemas intrínsecos à captura realizada por meio de dispositivos com toque. Isto se dá principalmente pelo fato de não existirem deformações da pele ou inconsistências entre leituras causadas pela elasticidade do dedo, assim como sujeiras, oleosidade e impressões digitais latentes deixadas na superfície de aquisição, não dependendo de algoritmos que tentam compensar tais problemas. Podemos observar por meio da Tabela 4.1 a comparação entre os dois sistemas.

Características	Sem toque	Com Toque
Distorções da pele	✗	✓
Captura Borrada	✗	✓
Impressões digitais Latentes	✗	✓
Área de Captura	Grande	Pequena
Tolerância a condições da pele	Alta	Baixa
Tolerância a condições de iluminação	Baixa	Alta
Espaço necessário	Grande	Pequeno
Custo	Alto	Baixo

Tabela 4.1: Comparativo entre sistemas com e sem toque.

Sendo assim, foram propostas algumas abordagens para implementação desta tecnologia os quais serão listados a seguir.

- **FlashScan 3D**

O FlashScan 3D <sup>1</sup> utiliza da tecnologia de sensores sem contato univista baseados em SLI - *Structured Light Illumination*, que possibilita a extração da informação de profundidade das franjas, possibilitando uma representação 3D da topografia do dedo. O conceito da tecnologia

---

<sup>1</sup><http://www.flashscan3d.com>

SLI baseia-se em projetar um padrão estruturado de luz na superfície do alvo e então medir a sua profundidade pela quantidade de luz refletida que foi desviada.

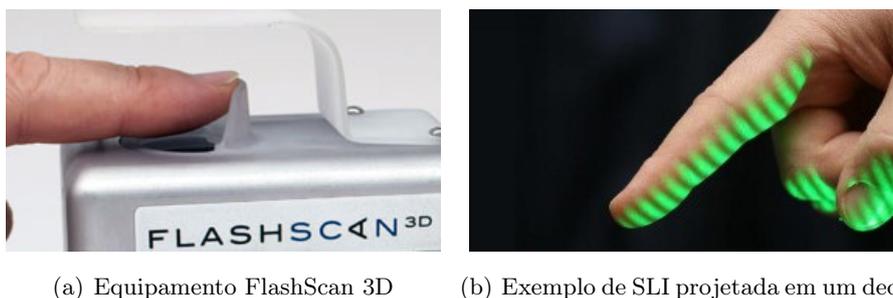


Figura 4.1: FlashScan 3D e exemplo de SLI

- **NEC Contactless Hybrid Finger Scanner**

O NEC CHF é uma tecnologia biométrica multimodal, a qual utiliza duas características biométricas para melhorar ou suprir o defeito uma da outra. Apesar deste tipo de sistema promover maior segurança, sistemas multimodais tendem a ser mais lentos. Neste caso, em somente um passo, captura-se tanto a impressão digital sem toque univista, como também o padrão venoso do dedo.



Figura 4.2: NEC Contactless Hybrid Finger Scanner.

- **Touchless Biometric Systems**

A TBS desenvolveu e patenteou uma tecnologia sem toque multivista baseada em reflexão, que, como podemos ver na Figura 4.3(a), possui uma câmera central posicionada para capturar a porção central do dedo, onde os *cores* e deltas estão localizados, e as outras duas estão a  $\pm 45^\circ$  da câmera central. Quando o dedo está posicionado corretamente, três fotos são tiradas simultaneamente e posteriormente costuradas [36] para obter uma vista semelhante à adquirida por meio da aquisição com toque rolada. Este sistema se mostra muito interessante devido ao tempo de captura, inferior à 1 segundo, redução significativa de aquisições ruins e maior área de captura.

Apesar destes sistemas anteriormente citados resolverem problemas intrínsecos aos sistemas com toque, os mesmos acabam por gerar outro problema, o qual se torna relativamente preocupante

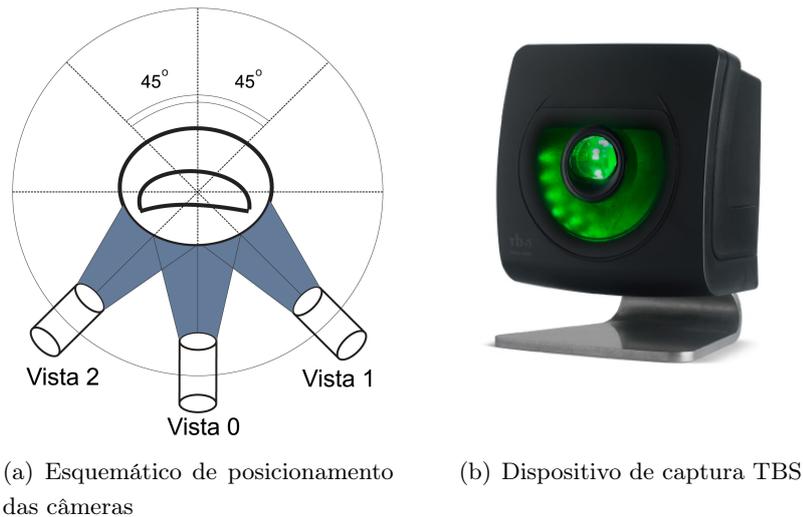
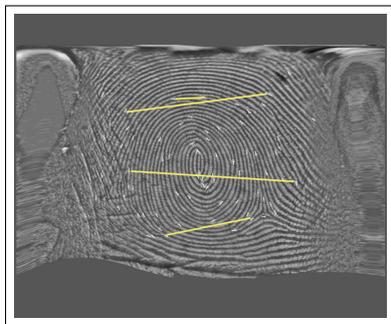


Figura 4.3: TBS - Touchless Biometric Systems.

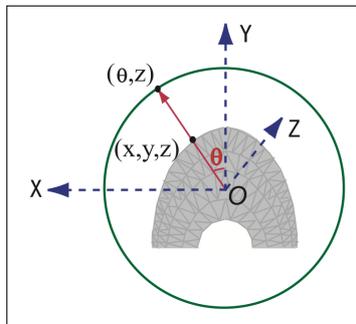
para a adoção de tais sistemas. Este problema é que se faz necessária a existência de um método que possibilite tais leitores biométricos gerarem imagens compatíveis com sistemas AFIS legados, que possuem bases de dados com bilhões de entradas de impressões com toque e softwares de casamento específicos para sistemas com toque.

Algumas destas empresas já se preocuparam com este problema, e algumas abordagens já foram efetuadas. Dentre elas podemos citar o algoritmo proposto pela TBS [37], o qual se propõe a efetuar a planificação parametrizada e não parametrizada da imagem (*unwrapping*) sem toque em com toque (Fig. 4.4).

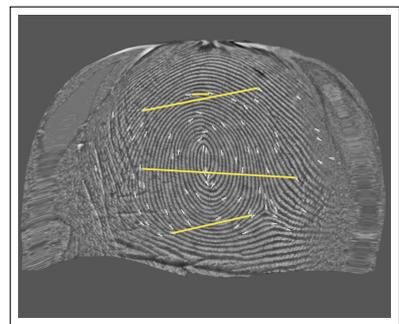
A planificação parametrizada é feita por meio de uma aproximação cilíndrica do dedo, supondo que os dedos possuem aproximadamente o mesmo diâmetro. A outra forma de planificação tenta manter a distância natural entre dois pontos, visto que algoritmos de casamento utilizam tais distâncias para efetuar o *matching*. Para conseguirem tal efeito, eles localmente desdobram a superfície do dedo e a escala é preservada o máximo possível, simulando a elasticidade do dedo. A pesar dos esforços, este método ainda não efetua compatibilidade real com sistemas legados, pois as imagens não possuem deformações que ocorrem naturalmente com as capturas com toque, possibilitando, assim, um aumento do EER.



(a) Parametrizada



(b) Cilindro utilizado para a parametrização



(c) Não parametrizada

Figura 4.4: Planificação efetuada em imagem sem toque da TBS.

## Capítulo 5

# Método Proposto

### 5.1 Introdução

Para obtermos compatibilidade entre os sistemas biométricos de impressão digital com e sem toque, 2D e 3D respectivamente, é necessário que as imagens 3D fiquem visualmente parecidas com as 2D (Fig. 5.1), e para isso foram necessários 8 passos, dentre eles podemos destacar equalização local, correção gama, filtragem gaussiana, binarização e distorção geométrica. A seguir, cada um das etapas será descrita.

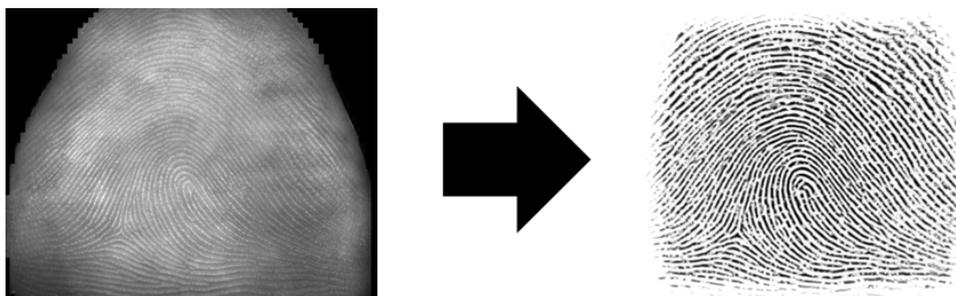


Figura 5.1: Imagem capturada e a mesma imagem após conversão

É importante ressaltar que a imagem utilizada para efetuar o processo (Fig. 5.1), é uma imagem obtida a partir das três vistas fornecidas pelo dispositivo (Fig. 5.2), representando uma captura unha-a-unha, a qual já é fornecida diretamente pelo Scanner da própria empresa, não sendo necessário esforço de efetuar a costura das imagens.

### 5.2 Equalização Local de Histograma

Inicialmente realizamos uma equalização local de histograma a partir de blocos de  $n \times n$  pixels, a fim de obtermos um maior realce das franjas, visto que a iluminação do scanner não é constante para todo o dedo.

A Figura 5.3 mostra: (a) uma imagem original  $I$ , obtida por meio do dispositivo de captura

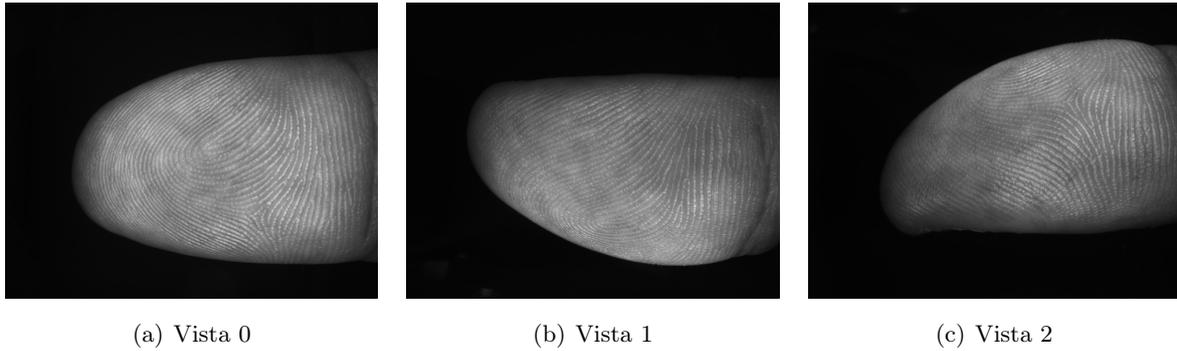


Figura 5.2: Exemplos de vistas ( $1024 \times 1280$  pixels, 8 bits/pixels) adquiridas por meio de um dispositivo sem contato multivista.

sem contato aqui estudado<sup>1</sup>; e (b) o resultado da equalização global de histograma, e o resultado da equalização local  $I_h$ , e seus respectivos histogramas.



Figura 5.3: Imagem original adquirida pelo dispositivo sem toque (a), com o histograma equalizado globalmente (b) e com o histograma equalizado localmente (c).

### 5.3 Correção Gama

O segundo estágio do algoritmo proposto consiste em submeter a imagem  $I_h$  a uma transformação gama com o objetivo de deixar mais nítida a diferença entre os vales e cumes, sendo definida pela equação descrita na Seção 2.3.1. O resultado da transformação em níveis de cinza sugerida pode ser visualizado na Figura 5.4.

### 5.4 Filtragem Gaussiana

O passo seguinte consiste em filtrar a imagem  $I_{h\gamma}$  com  $k$  filtros gaussianos de tamanhos  $h_i = [3 \ 5 \ 7 \ \dots \ k]$ . Considerando que esses tamanhos de filtro representam as larguras a meia altura

---

<sup>1</sup>TBSGuard 3D.

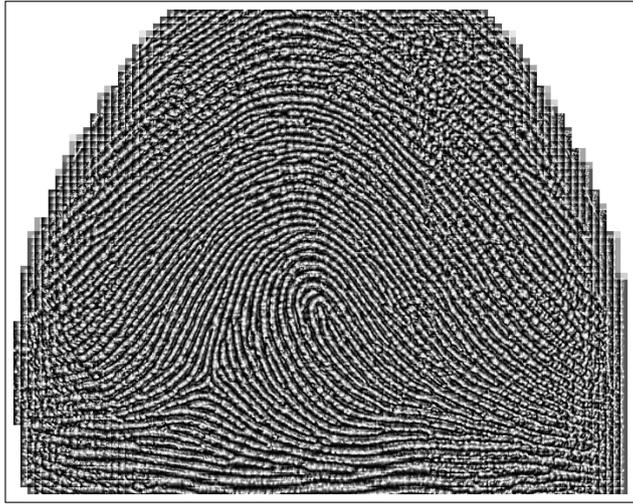


Figura 5.4: Imagem  $I_{h\gamma}$ , com  $c = 1$  e  $\gamma = 1.5$ .

(*full width at half maximum* ou FWHM) de Gaussianas [8], os respectivos desvios padrões  $\sigma_i$  são definidos a partir da equação,

$$\sigma_i = \frac{h_i}{2\sqrt{2\ln 2}}. \quad (5.1)$$

Observamos a imagem  $I_{h\gamma}$  filtrada com 3 tamanhos de filtro na figura 5.5.

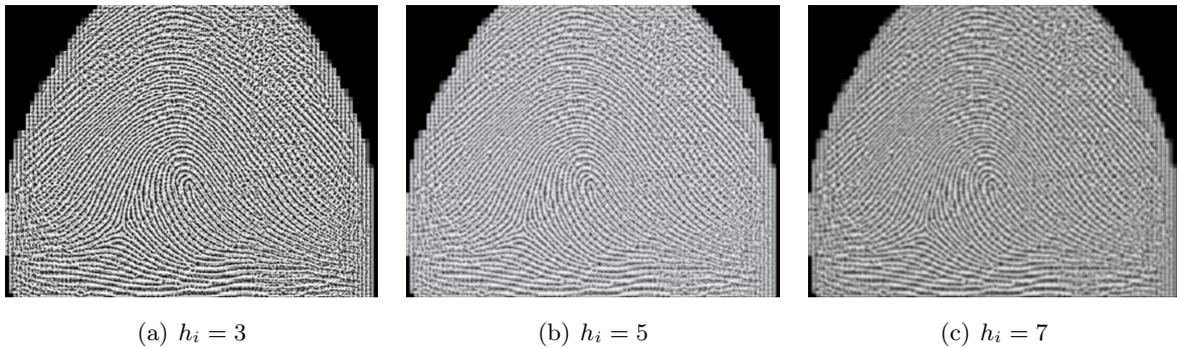


Figura 5.5: Imagens  $I_{f_i}$  resultantes do processo de filtragem: (a) a (c). Na filtragem foram utilizados filtros gaussianos de tamanho  $h_i = [3 \ 5 \ 7]$  e respectivos desvios padrões dados pela Equação 5.1.

## 5.5 Binarização

As  $k$  novas imagens,  $I_{f_i}$ ,  $i = 1..k$ , resultantes do processo de filtragem anteriormente citado, são então binarizadas por meio do *software mindtct* oferecido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*) no pacote *NIST Biometric Image Software* (NBIS) [10] devido ao seu algoritmo de binarização ser otimizado e altamente adaptado para impressões digitais. O resultado

são as imagens binárias  $I_{bi}$ ,  $i = 1..k$ . As imagens filtradas e binarizadas podem ser visualizadas na Figura 5.6.

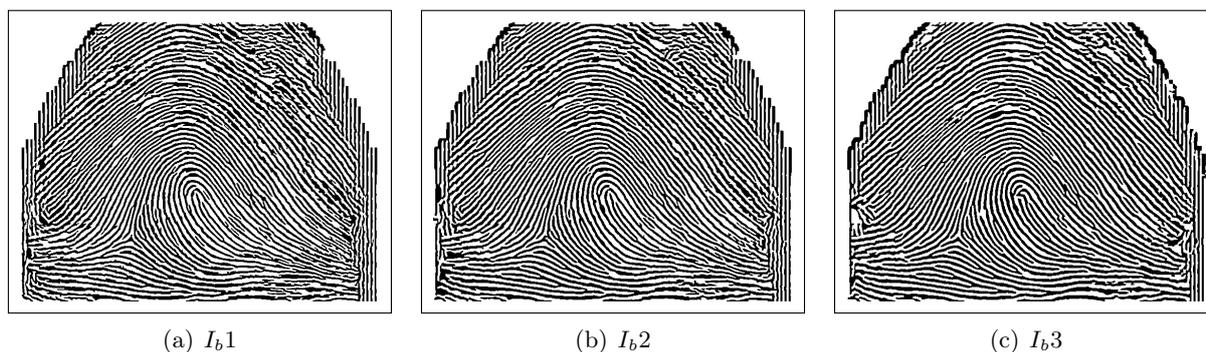


Figura 5.6: Imagens  $I_{bi}$  resultantes do processo binarização: (a) a (c). A binarização foi realizada utilizando-se o software *mindtct*.

### 5.5.1 Soma das imagens binarizadas

Gera-se, então, uma imagem  $I_M$  a partir da média das imagens  $I_{bi}$ , conforme a Equação 5.2, e realça-se um recorte exatamente nos limites da impressão digital. Esta etapa se faz altamente necessária para verificarmos quais franjas são reais e quais foram geradas pelo processo de filtragem seguida de binarização. O resultado pode ser visualizado na Figura 5.7. Pode-se observar que o aspecto de  $I_M$  começa a se aproximar ao de uma imagem adquirida por meio de um dispositivo com contato.

$$I_M = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k I_{bi} \quad (5.2)$$

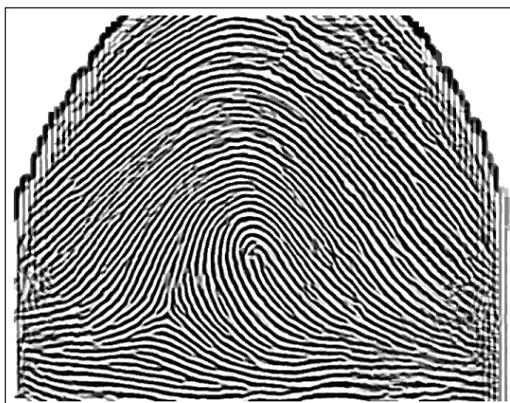


Figura 5.7: Imagem  $I_M$ , gerada a partir da média das imagens  $I_{bi}$ .

Nota-se empiricamente que estas ultimas 3 etapas se dão por necessário, visto que quando não as efetuávamos obtinha-se uma impressão digital com minúcias que não eram contidas na imagem original, porém com diferentes níveis de filtragem e uma posterior soma das imagens resultantes da

binarização, reforçamos as minúcias verdadeiras existentes e descartamos as geradas pelo processo de conversão.

## 5.6 Correção Geométrica

Geralmente, em imagens adquiridas por meio de rolagem unha-a-unha, a diferença entre a largura da parte superior e a largura da parte inferior não é tão acentuada como observada até o presente momento. Por isso, faz-se necessário um processamento cujo resultado é o alargamento da parte superior da impressão digital.

O algoritmo proposto procura estimar por meio de uma regressão polinomial qual seria a função matemática que aproxima as bordas direita e esquerda da impressão digital. Estamos assumindo que a distorção observada é simétrica, ou seja, ocorre a mesma distorção tanto na parte direita quanto na esquerda do dedo. Podemos concluir esta simetria devido ao caráter de construção do dispositivo utilizado para captura, onde as câmeras laterais observam áreas de imagem praticamente iguais, e que um erro para um dos dois lados significaria um deslocamento ínfimo em relação à distorção efetuada pela correção geométrica. Outro fato que nos possibilita aceitar este erro, em benefício da performance, é devido ao fato de existirem erros ou borrões na captura unha-a-unha tradicional.

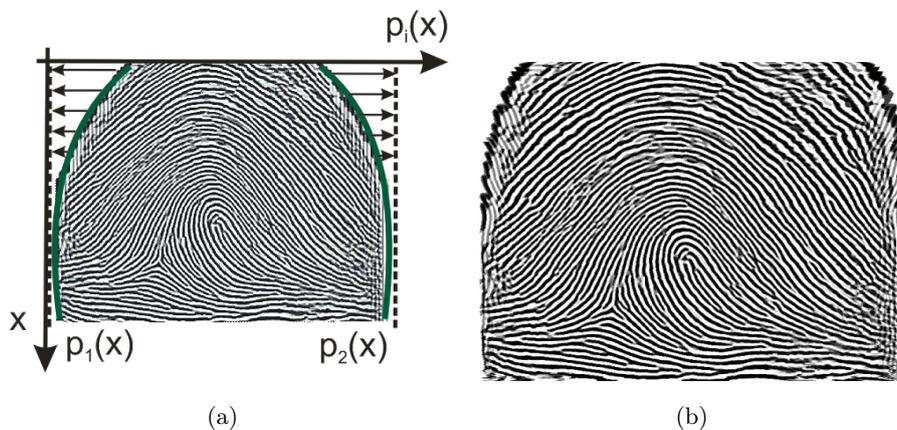


Figura 5.8: Correção geométrica proposta (a); e (b) resultado da correção geométrica aplicada à imagem da Figura 5.7. Utilizaram-se polinômios de grau 5.

Uma vez encontrado o polinômio  $p_1(x)$  que descreve a borda esquerda, por exemplo, assumimos que esse mesmo polinômio pode ser utilizado como referência para compensar também a borda direita, a partir de um polinômio simétrico  $p_2(x)$ , onde  $p_2(x) = p_1(-x)$ . A correção geométrica proposta interpola cada linha da impressão digital nas direções indicadas pela ilustração da Figura 5.8 (a) até o limite do polinômio  $-p(x)$ . Os eixos foram rotacionados para acompanharem a orientação de captura da imagem. A Figura 5.8 (b) mostra a imagem  $I_D$  resultante da correção geométrica. Utilizaram-se polinômios de grau 5, determinados de forma empírica, devido ao fato

destes serem o mínimo necessário para reconstrução da curvatura do dedo, onde polinômios de ordem maior geravam distorções indesejadas na imagem, diferindo demasiadamente de um dedo capturado por digitalizadores com toque.

## 5.7 Adição de textura

A penúltima etapa de processamento consiste em aplicar uma textura sobre a imagem  $I_D$ , piorando a qualidade da imagem, com o objetivo de emular os problemas intrínsecos a aquisição com toque, tornando as imagens semelhantes às adquiridas com toque. Esta etapa se dá por necessidade devido ao fato dos algoritmos de *matching* serem projetados para lidar com este tipo de textura, apresentando um pior desempenho quando utilizadas imagens sem textura [9]. Outro motivo desta etapa ser importante se dá pelo fato dos papiloscopistas estarem acostumados com estes tipos de imagem e não com imagens limpas.



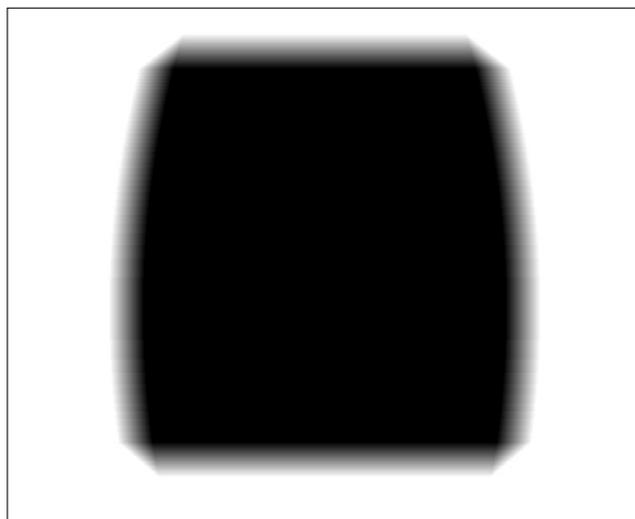
Figura 5.9: Imagem  $I_D$  com textura gerada artificialmente por meio de elipses.

Para isso, projetam-se sinteticamente [9] elipses sobre  $I_D$  com diagonais maiores (entre 1 e 5 *pixels*), diagonais menores (entre 1 e 3 *pixels*), ângulos (entre 0 e 180°) e níveis de cinza (entre 0 e 255) gerados aleatoriamente. O resultado é o observado na Figura 5.9.

### 5.7.1 Esmacimento

Agora a imagem está praticamente igual à uma adquirida por um scanner com toque à não ser pela qualidade da impressão digital que pode ser considerada superior, como demonstrado no capítulo 6, e pela existência de uma margem na impressão digital causada pela baixa frequência de franjas. Para isso, realiza-se um esmacimento nas bordas da imagem.

Este esmacimento é feito por meio de uma máscara de tamanho variável conforme a altura e largura da imagem, onde as partes de cima e de baixo são delimitadas por retas e as laterais por polinômios de grau 2. Após a obtenção desta máscara, nos efetuamos uma soma dela com a imagem  $I_D$ . A Figura 5.10 mostra a máscara utilizada e o resultado do esmacimento que, também, representa o passo final do método proposto.



(a)



(b)

Figura 5.10: (a) Mascara utilizada para efetuar o esmaecimento e (b) Imagem Final do processamento para compatibilidade entre Impressões digitais com e sem toque.

## Capítulo 6

# Resultados Experimentais

### 6.1 Introdução

Os experimentos aqui executados foram elencados a fim de comprovar a interoperabilidade do método proposto, propiciando a utilização de algoritmos já existentes em impressões digitais sem toque, verificar a reação do sistema biométrico à taxas de compressão distintas para quatro tipos de algoritmos de compressão e, por último, verificar a compatibilidade total com os sistemas biométricos legados.

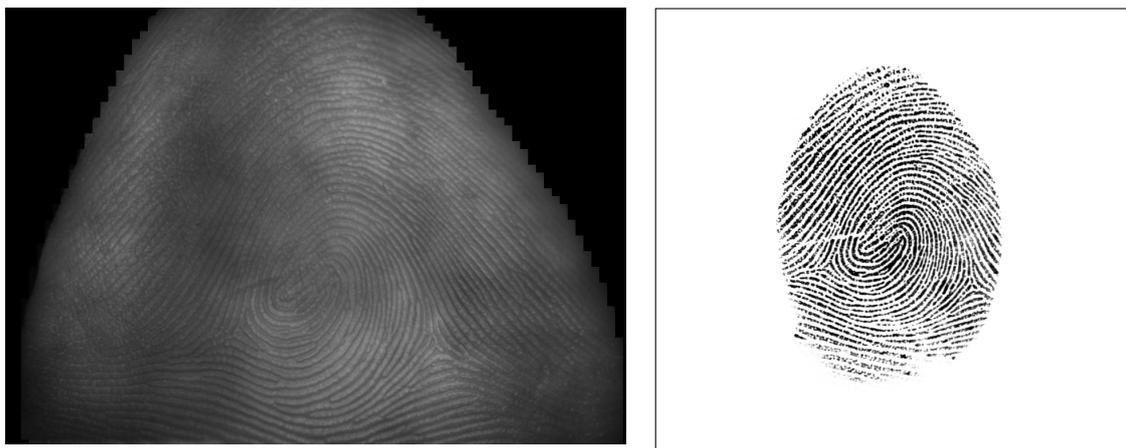
Desta forma, podemos listar os seguintes testes a serem executados:

- Teste 1: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista;
- Teste 2: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista com diversos algoritmos e níveis de compressão;
- Teste 3: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista e impressões digitais com toque.

Todos os testes e método proposto foram desenvolvidos utilizando a ferramenta *MATLAB Revision 2013A* e executados em ambiente UNIX Mac OSX 10.9.3.

### 6.2 Base de impressões digitais para teste

Para efetuarmos os testes, foram coletados um total de 840 impressões digitais sem contato multivista e 420 impressões digitais com toque, as quais foram capturadas da forma mais natural possível, simulando um processo de aquisição real, ou seja, o procedimento de captura foi descrito ao usuário e o operador apenas interferiu indicando ao usuário o momento exato que o dedo deveria ser posicionado no dispositivo. Além disso, não foram descartadas quaisquer imagens, mesmo aquelas que pudessem ser classificadas como sendo de baixa qualidade a partir de uma avaliação prévia do operador. Estas imagens representam um total de 420 dedos diferentes, onde foram efetuadas duas



(a) Imagem adquirida com scanner TBS

(b) Imagem adquirida com scanner Akiyama

Figura 6.1: Exemplo de amostras sem toque e com toque utilizadas nos testes.

capturas sem toque para cada dedo e uma única captura com toque. Podemos observar amostras deste conjunto de teste na Figura 6.1.

Para a coleta de amostras sem toque foi utilizado o leitor biométrico da TBS, o qual foi descrito na seção 4.2, modelo 3D Enroll; E para a coleta de impressões digitais com toque, foi utilizado o scanner da Akiyama, os mesmos utilizados pelo Tribunal Superior Eleitoral Brasileiro<sup>1</sup> para o recadastramento eleitoral obrigatório.

É importante ressaltar que dentro deste conjunto de teste, foram adquiridas impressões digitais de pessoas com uma gama de doenças reumatológicas, visto que estas apresentam uma grande dificuldade de movimentar seus dedos, seja por dor ou por serem impossibilitadas de efetuar o movimento normal do membro, impedindo o posicionamento ideal do dedo em ambas tecnologias.

### 6.3 Teste 1: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista para determinação dos melhores parâmetros

Neste primeiro teste, submetemos a base de 840 imagens adquiridas sem toque ao algoritmo descrito na seção 5, onde variamos 3 parâmetros do sistema, os quais definem o tamanho do bloco a ser utilizado para a equalização local, o valor da correção gama a ser aplicada e por último a quantidade de filtros gaussianos juntamente com seus desvios padrões. As combinações utilizadas foram a permutação de todos os valores de tamanho de bloco, três ao total (7,8 e 9), nível de correção gama, total de três (1, 1.5 e 2) e o número de filtros, um total de 4 combinações ((3),(3 e 5),(3, 5 e 7) e (3, 5, 7 e 9)), ou seja, foram efetuadas um total de 36 combinações para determinar os melhores parâmetros.

Por vez, para averiguarmos qual a melhor combinação para o objeto deste estudo, submetemos

<sup>1</sup>[http://akiyama.com.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=34:cadastramento-de-eleitores-com-tecnologia-akiyama&catid=17&Itemid=107](http://akiyama.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=34:cadastramento-de-eleitores-com-tecnologia-akiyama&catid=17&Itemid=107)

todas as imagens processadas com cada combinação de parâmetros, ao software de extração de minúcias *mindtct* provido pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*)<sup>2</sup>, o qual é referência e vastamente utilizado para impressões digitais com toque. Paralelamente a esta etapa, analisamos a qualidade das impressões digitais por meio do software *nfiq*, retornando um dos índices de qualidade: (1) Excelente, (2) Muito Bom, (3) Bom, (4) Regular e (5) Ruim. Utilizando a saída do *mindtct* como entrada, utilizamos o *bozorth3*, para casar as impressões digitais uma à uma. Podemos observar este processo no diagrama de blocos na Figura 6.2. Mais detalhes sobre os *softwares* do NIST, podem ser encontrados nos trabalhos do NIST/ITL Image Group [57, 58].

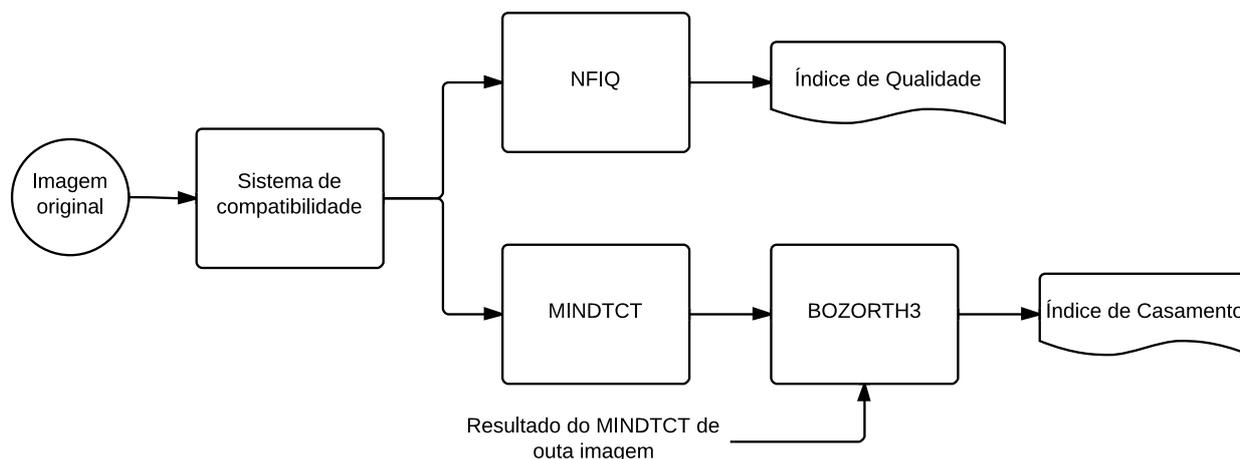


Figura 6.2: Diagrama de blocos do Teste 1.

A partir deste teste, conseguimos plotar a curva DET e obtermos a qualidade média das impressões digitais para cada combinação de parâmetros a partir da Equação 6.1, onde  $i$  é a qualidade e  $I_{ij}$  é a imagem  $j$  cuja qualidade é  $i$ , possibilitando, por consequência, verificar qual combinação de parâmetros nos resulta o menor *Equal Error Rate*.

$$QM = \frac{\sum_{i=1}^5 (i \times \sum_{j=0}^n I_{ij})}{5} \quad (6.1)$$

Para avaliarmos a taxa de Falsa Negação, casamos uma das impressões digitais de cada dedo com a outra impressão digital do mesmo dedo. A taxa de Falsa Aceitação foi calculada casando-se as duas impressões digitais de cada dedo com todas as impressões digitais dos demais dedos. Ou seja, as duas impressões digitais do dedo 1 foram casadas com todas as impressões digitais dos dedos 2 a 200 (198 casamentos), dos dedos 2 foram casadas com as digitais dos dedos 3 a 200 (196 casamentos) e assim por diante. Foram um total de 200 casamentos para se determinar a taxa de Falsa Rejeição e 20.000 para se determinar a de falsa aceitação. A definição dessas taxas também depende de um limiar, o qual foi variado entre 0 e 150, para o índice de similaridade retornado pelo *bozorth3*.

Para este teste, como podemos observar na Tabela 6.1, a combinação que deu melhor resultado, de forma a minimizar o EER, foi com Tamanho de bloco = 9, Gama = 1.5 e Quantidade de filtros = 3, resultando em um EER = 0.3469% e Qualidade Média (QM) = 1.85.

<sup>2</sup><http://www.nist.gov/itl/iad/ig/nbis.cfm>

Tamanho de Bloco	Gama	Quantidade de filtros	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	QM	EER
7	1	1	15	69	10	4	2	2.09	0.02102
7	1	2	15	76	4	3	2	2.01	0.032959
7	1	3	18	79	0	2	1	1.89	0.02
7	1	4	47	33	16	1	3	1.8	0.039694
7	1.5	1	13	72	12	2	1	2.06	0.040612
7	1.5	2	13	74	11	1	1	2.03	0.04
7	1.5	3	18	77	2	2	1	1.91	0.041837
7	1.5	4	50	31	13	2	4	1.79	0.032245
7	2	1	8	72	16	1	3	2.19	0.032857
7	2	2	11	81	5	1	2	2.02	0.039286
7	2	3	18	78	1	1	2	1.91	0.036327
7	2	4	50	26	17	3	4	1.85	0.049286
8	1	1	15	70	8	4	3	2.1	0.038367
8	1	2	14	79	3	1	3	2	0.018367
8	1	3	23	71	1	2	3	1.91	0.039898
8	1	4	46	42	6	3	3	1.75	0.042755
8	1.5	1	16	73	8	1	2	2	0.01898
8	1.5	2	13	78	2	4	3	2.06	0.04102
8	1.5	3	20	79	1	0	0	1.81	0.042959
8	1.5	4	51	37	9	2	1	1.65	0.042551
8	2	1	12	73	8	2	5	2.15	0.020918
8	2	2	15	80	2	1	2	1.95	0.005
8	2	3	24	73	0	0	3	1.85	0.018469
8	2	4	50	34	10	4	2	1.74	0.038878
9	1	1	13	78	4	2	3	2.04	0.021122
9	1	2	16	78	4	0	2	1.94	0.018163
9	1	3	22	73	2	1	2	1.88	0.038163
9	1	4	46	37	11	3	3	1.8	0.034898
9	1.5	1	15	81	3	0	1	1.91	0.017347
9	1.5	2	16	80	2	0	2	1.92	0.016429
<b>9</b>	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>22</b>	<b>75</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1.85</b>	<b>0.003469</b>
9	1.5	4	45	36	15	3	1	1.79	0.039694
9	2	1	12	79	6	0	3	2.03	0.040714
9	2	2	14	83	0	0	3	1.95	0.010306
9	2	3	20	77	1	0	2	1.87	0.020102
9	2	4	43	43	8	3	3	1.8	0.01898

Tabela 6.1: Tabela utilizada para definir os melhores parâmetros (tamanho de bloco para equalização local, índice de correção gama e quantidade de filtros a serem utilizados) para o método proposto.

## 6.4 Teste 2: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista com diversos algoritmos e níveis de compressão

Neste segundo teste, submetemos as 840 imagens a diferentes algoritmos e níveis de compressão de imagem descritos na Seção 2.4, todos *lossy* (com perdas), com o intuito de avaliarmos como o impacto dos padrões de compressão no processo de autenticação biométrica que aplica o sistema de compatibilidade discutido anteriormente.

Em trabalhos anteriores [38] foi avaliado o desempenho de algoritmos de compressão de imagens considerando um conjunto de teste restrito de 6 amostras, onde cada amostra era também composta pelas três vistas, porém separadas, com o objetivo de comparar o desempenho dos codificadores em termos de taxa-distorção (taxa de *bits* versus *peak signal-to-noise ratio*). É importante ressaltar que neste teste não estamos interessados em avaliar o desempenho dos codificadores de imagens em termos de taxa-distorção, mas sim o impacto destes codificadores em termos de ERR no processo de autenticação biométrica após o algoritmo de compatibilidade entre as tecnologias com e sem contato ter sido aplicado. A tabela 6.2 lista todos os codificadores utilizados, assim como suas taxas em *bit/pixel*, utilizadas neste cenário. Podemos observar amostras de cada tipo de codificação e suas respectivas taxas nas Figuras 6.5 até 6.8, e a amostra original na Figura 6.1(a).

Tentou-se ao máximo obter a mesma taxa de compressão para todos os codificadores utilizados, porém devido a eficiência do H-264 AVC-I, iniciamos a uma taxa de aproximadamente 0.5 *bit/pixel*.

Algoritmo de compressão	Taxa 1	Taxa 2	Taxa 3	Taxa 4
BMP	8.0000	-	-	-
JPEG	0.9492	0.7067	0.4677	0.1613
JPEG2000	0.9972	0.4978	0.2480	0.0986
WSQ	0.7925	0.4065	0.2130	0.0985
AVC-I	0.4543	0.3849	0.2502	0.1428

Tabela 6.2: Algoritmos de codificação e as suas respectivas taxas em *bit/pixel* utilizadas para comprimir as imagens.

Após obtermos as imagens comprimidas pelos algoritmos, submetemos-as ao sistema de compatibilidade de impressões biométricas e então efetuamos o procedimento descrito no Diagrama de blocos da Figura 6.4 para cada compressor e cada taxa de compressão, a fim de obter as métricas de comparação objetivas, ou seja, EER e QM. Podemos observar os resultados, separados para cada tipo de algoritmo de compressão nas Tabelas 6.3 até 6.6. Os gráficos presentes na Figura 6.3 resumem de forma gráfica estas tabelas. Informações detalhadas sobre a Qualidade e as curvas ROC de cada codificador e taxa estão no Anexo I.

**H264 AVC-I**

Taxa	EER	QM
0.1428	0.0458	2.2024
0.2502	0.0374	2.1607
0.3849	0.0374	2.1560
0.4543	0.0483	2.1393

Tabela 6.3: Resultados para Teste 2 utilizando AVC-I.

**JPEG**

Taxa	EER	QM
0.1613	0.2645	3.5321
0.4377	0.0504	2.2107
0.7067	0.0441	2.1893
0.9492	0.0485	2.1940

Tabela 6.4: Resultados para Teste 2 utilizando JPEG.

**JPEG2000**

Taxa	EER	QM
0.0986	0.1008	2.5262
0.2480	0.0460	2.2714
0.4978	0.0472	2.2357
0.9972	0.0398	2.2536

Tabela 6.5: Resultados para Teste 2 utilizando JPEG2000.

**WSQ**

Taxa	EER	QM
0.0985	0.0763	2.3714
0.2130	0.0578	2.2690
0.4065	0.0472	2.2667
0.7925	0.0496	2.2310

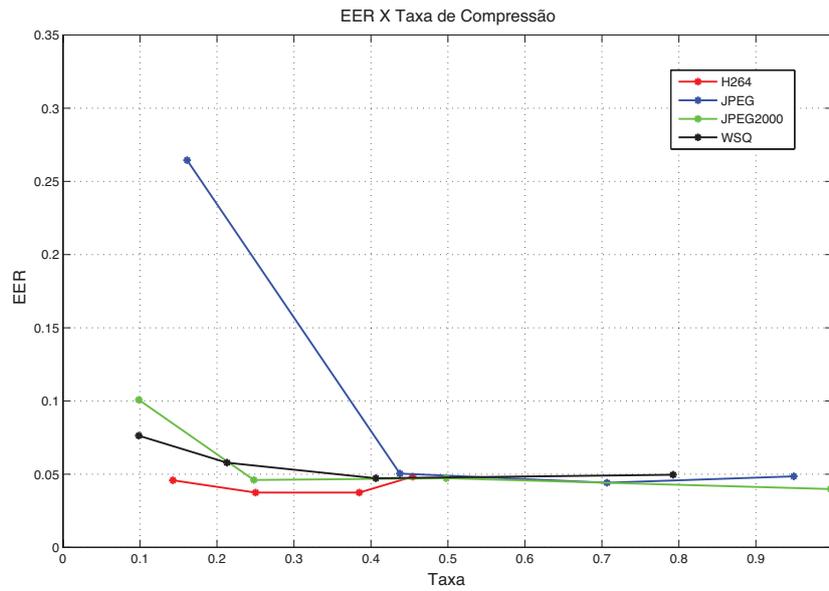
Tabela 6.6: Resultados para Teste 2 utilizando WSQ.

### 6.5 Teste 3: Casamento entre impressões digitais sem contato multivista e impressões digitais com toque.

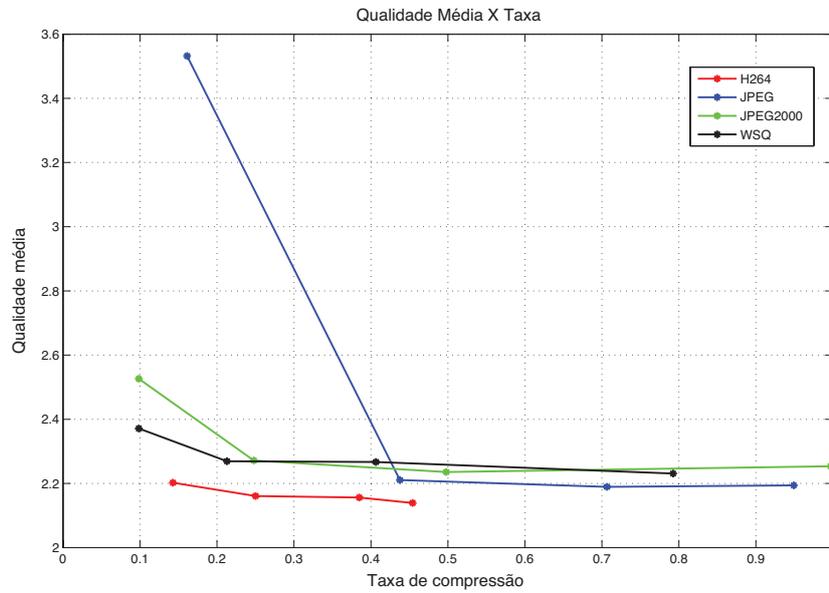
Neste último teste tenta-se verificar a compatibilidade total com os sistemas biométricos legados, ou seja, além de utilizar o sistema AFIS para impressões digitais 2D com impressões digitais sem toque multivista, também efetuar verificação biométrica entre impressões digitais legadas (com toque) e impressões digitais 3D (sem toque). Para isso utilizou-se o resultado do processamento das 840 imagens adquiridas sem toque resultante do teste 1 com os melhores parâmetros, e a base de dados com uma única amostra de cada dedo adquiridas com toque. Desta forma, temos um total de de 420 dedos a serem analisados, onde foram coletadas 840 imagens sem toque, duas amostras por dedo, e 420 com toque, uma amostra por dedo. A partir desta base de impressões digitais, passamos todas as imagens resultantes pelo software de extração de minúcias *mindtct*, exceto todas as impressões com toque, que sofreram previamente uma translação em torno do eixo vertical, conforme podemos observar na Figura 6.9, para que as minúcias dos mesmos dedos ficassem na mesma direção.

A partir dos dados obtidos, efetuou-se o casamento um-a-um de todas as amostras sem toque com as com toque para a obtenção das taxas de falso positivo e falso negativo, e por consequência o cálculo do EER. Além deste teste, também avaliou-se a qualidade das impressões com toque por meio do *nfiq*.

Podemos observar os resultados obtidos deste teste, descrito em forma de diagrama de blocos



(a) Gráfico compilado do EER



(b) Gráfico compilado da Qualidade Média

Figura 6.3: Gráficos dos resultados compilados do teste 2.

na Figura 6.10, nos gráficos de qualidade e curva ROC, onde obtivemos Qualidade média (QM) = 1.4171 e o EER = 0.1347 ( Fig. 6.11).

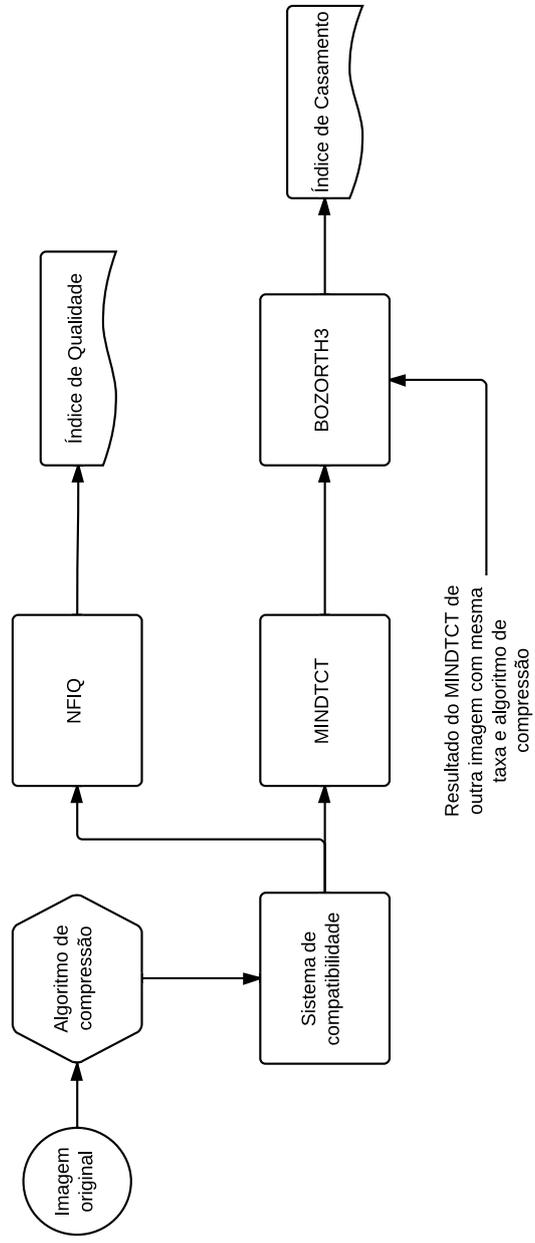
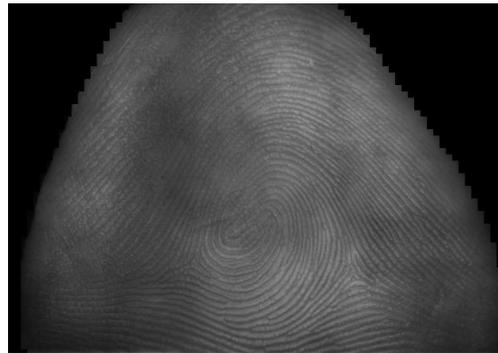


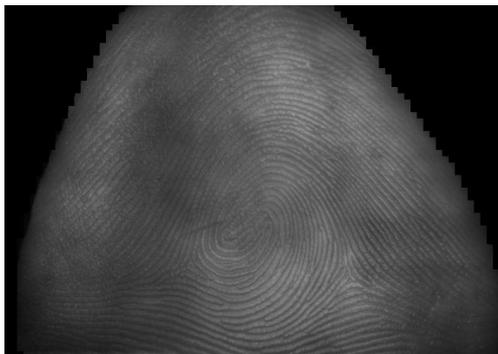
Figura 6.4: Diagrama de blocos do Teste 2.



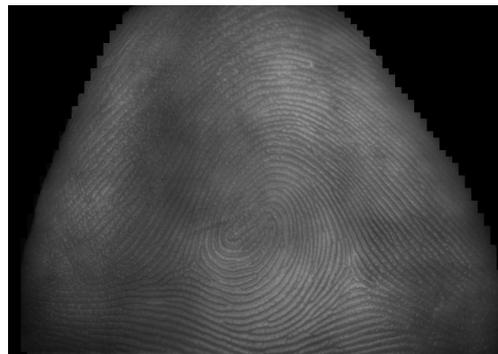
(a) 0.15 bpp



(b) 0.46 bpp

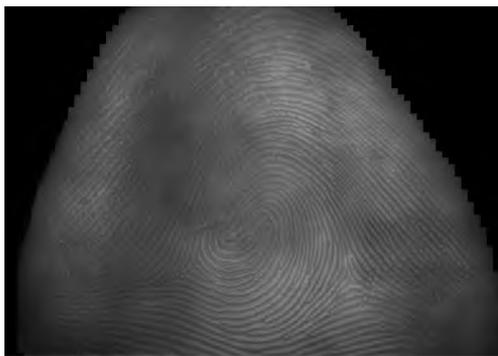


(c) 0.70 bpp

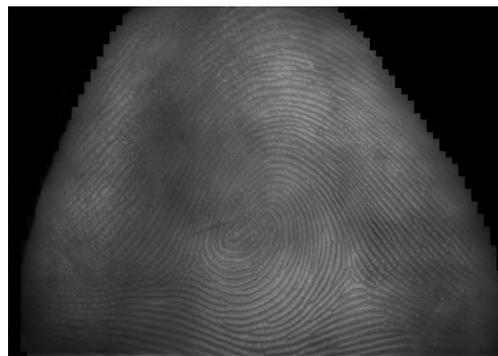


(d) 0.94 bpp

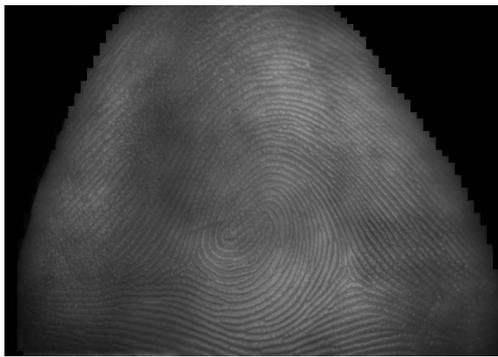
Figura 6.5: Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com JPEG.



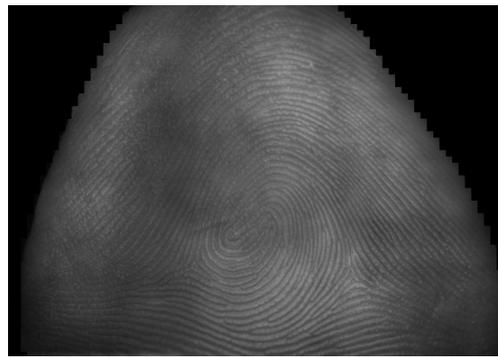
(a) 0.1 bpp



(b) 0.25 bpp

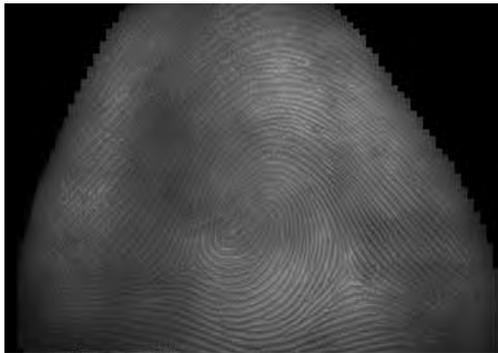


(c) 0.5 bpp

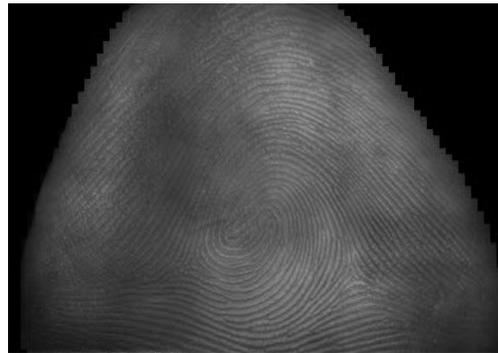


(d) 1.0 bpp

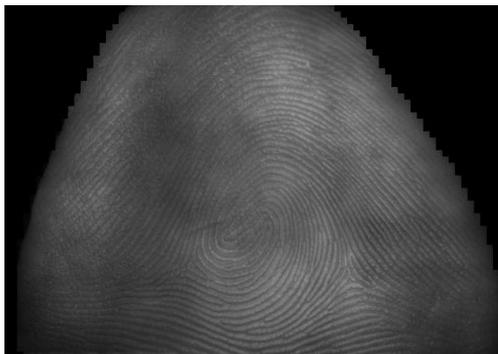
Figura 6.6: Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com JPEG2000.



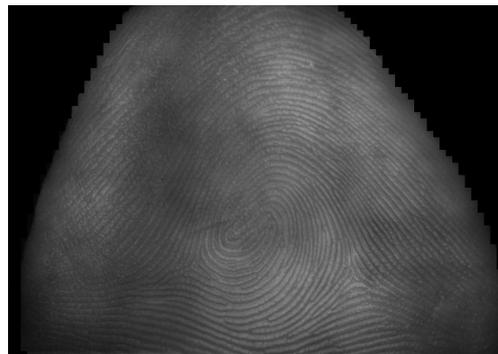
(a) 0.1 bpp



(b) 0.25 bpp



(c) 0.5 bpp



(d) 1.0 bpp

Figura 6.7: Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com WSQ.

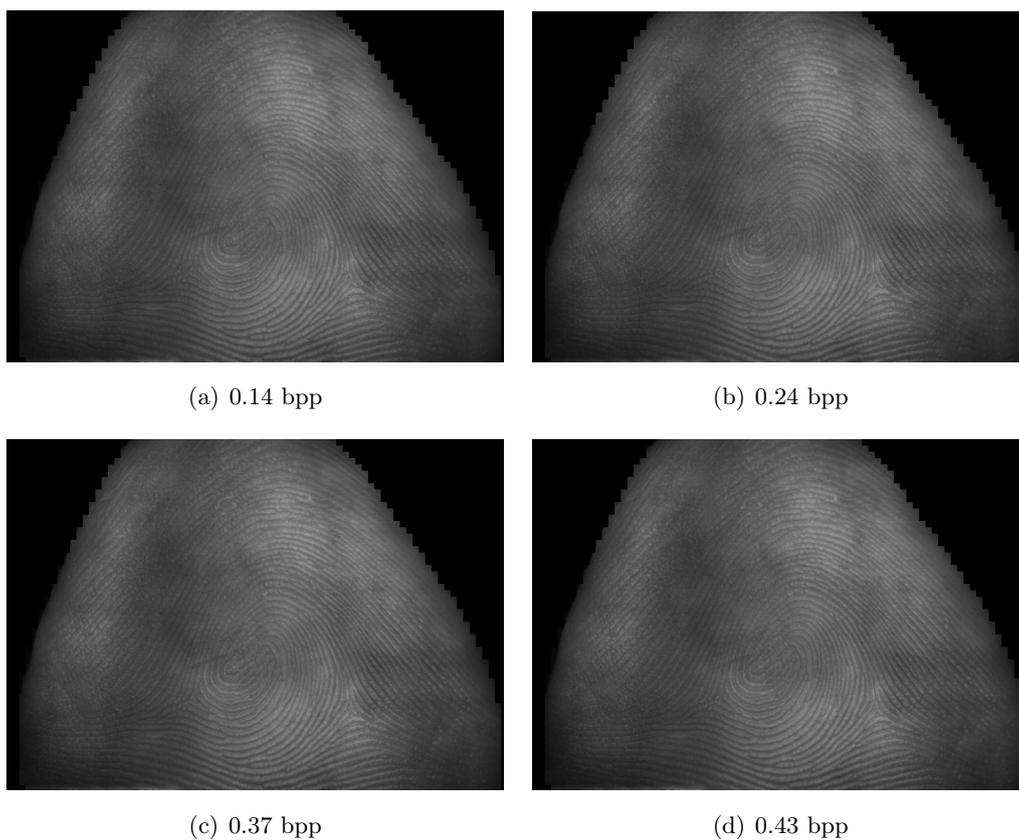


Figura 6.8: Amostra 1 do dedo 1 sem toque codificados com H-264 AVC-I.

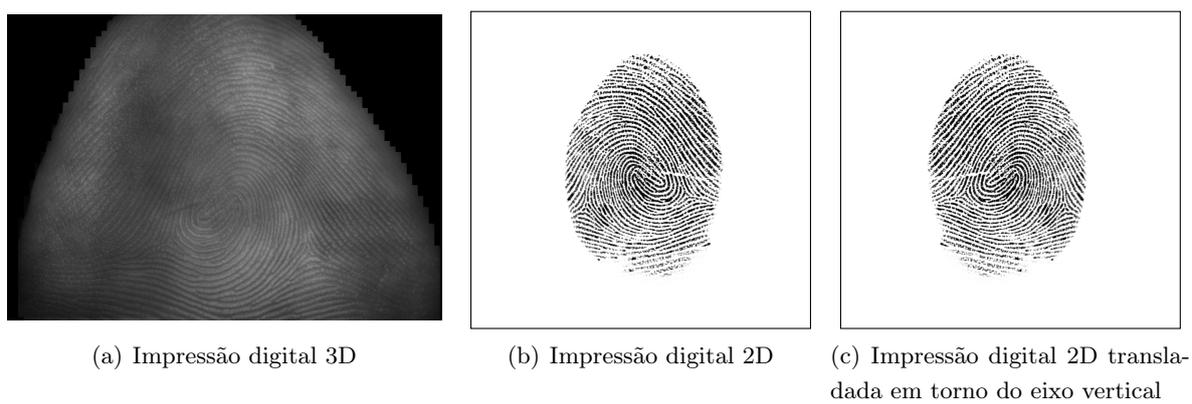


Figura 6.9: Mesmo dedo adquirido (a) sem toque, (b) com toque e (c) com toque transladada no eixo vertical.

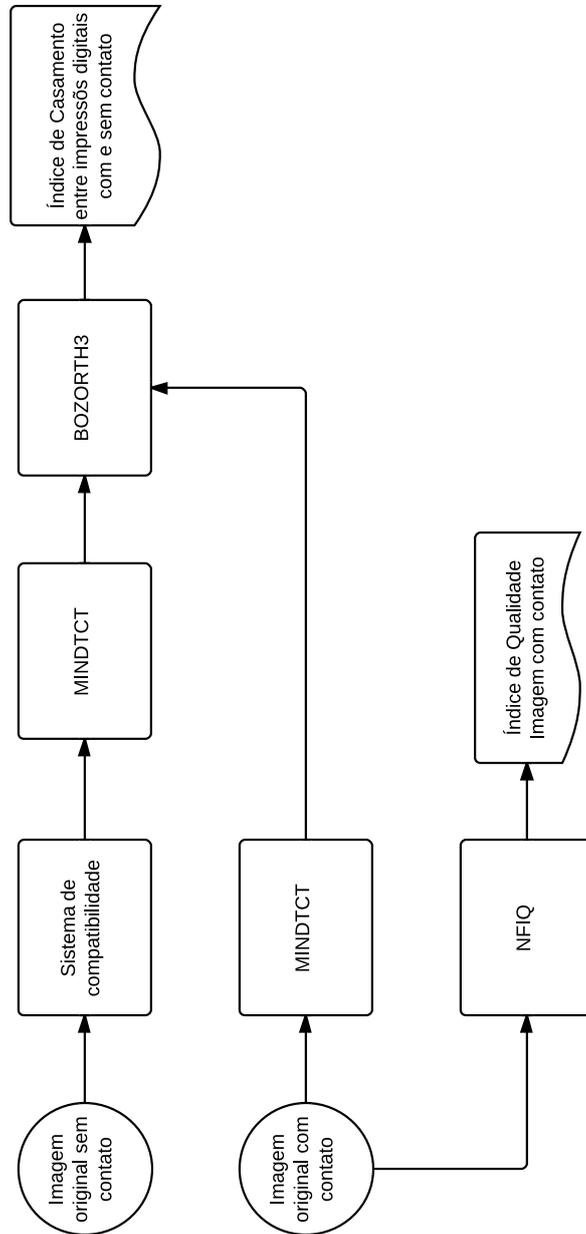
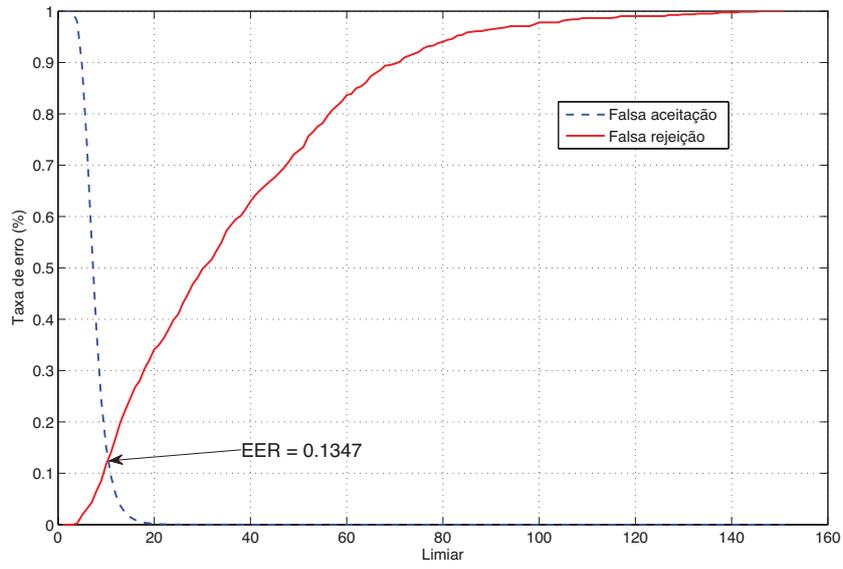
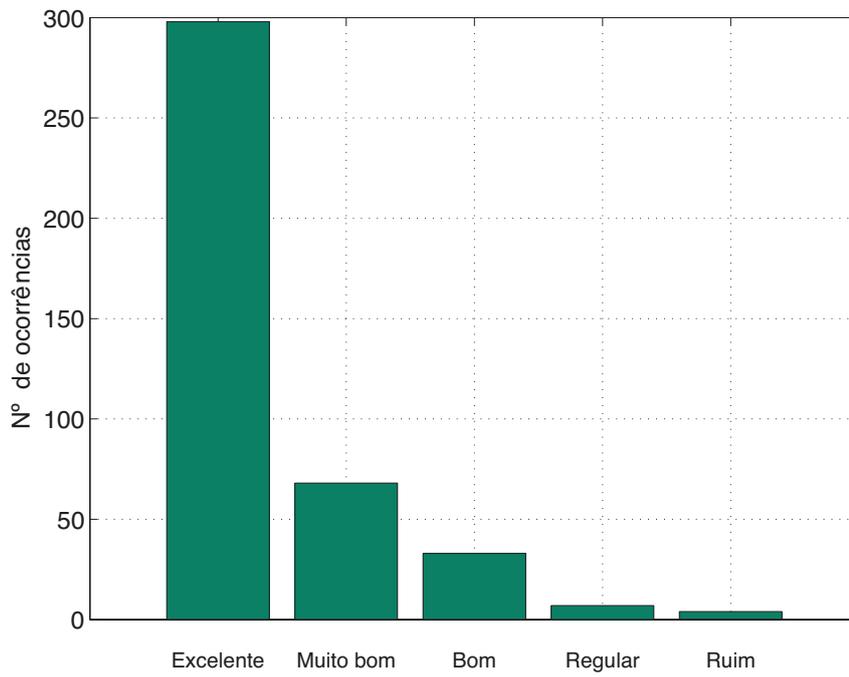


Figura 6.10: Diagrama de blocos do Teste 3.



(a) Curva ROC do Teste 3 e o seu EER



(b) Qualidade das impressões digitais com toque

Figura 6.11: Gráficos dos resultados compilados do teste 3.

# Capítulo 7

## Conclusões

### 7.1 Considerações Iniciais

A presente monografia teve como objetivo verificar a possibilidade da adoção completa de biometria por impressões digitais sem toque em sistemas AFIS e comerciais já existentes, por meio de um método que visa transformar as impressões digitais sem contato multivista em uma similar à obtida com toque.

### 7.2 Teste 1

A partir do Teste 1, pudemos observar que o projeto aqui explicitado propicia a utilização de algoritmos já existentes para impressões digitais com contatos, em impressões digitais sem contato multivista, como por exemplo algoritmos de extração de minúsculas, qualidade de impressões digitais e, por consequência, casamento entre impressões digitais. Podemos observar este fato pelos resultados de Qualidade Média (QM) das impressões digitais sem contato analisados pelo *nfiq* de 1.85 e *Equal Error Rate* (EER) de 0.3469%. Para fins de comparação, em sistemas com toque, durante o FVC (*international Fingerprint Verification Competitions*) [63], os algoritmos de casamento entre impressões digitais com toque unhas-a-unhas retornam um EER médio de 2.9.

Além disso, resultados da Tabela 6.1 indicam uma clara não correlação entre a QM e o EER, onde, por exemplo, imagens consideradas melhores (QM = 1.65), geraram um EER de 4.25%, muito maior que o observado com uma qualidade pior.

### 7.3 Teste 2

Atualmente, devido ao grande volume de dados, imagens necessitam ser comprimidas para serem, não somente armazenadas de forma mais eficiente, mas também melhorar o desempenho dos sistemas AFIS. Desta forma, afim de verificarmos o comportamento do Trabalho Proposto à diferentes algoritmos e taxas de compressão, submetemos o algoritmo ao Teste 2.

A partir dos resultados observados na Figura 6.3, podemos concluir que o sistema se comporta da forma esperada até compressões à 0.4 bpp, onde quão melhor a imagem original, melhor seria o EER, porém após este ponto, notamos uma anomalia do sistema à todos os codificadores utilizados, onde a imagem com uma taxa de compressão menor e por consequência uma melhor qualidade, possui um EER mais elevado. Além deste fator, quando observamos a Qualidade Média obtida por meio do *nfiq*, também observamos a mesma anomalia, exceto para o H.264/ACV-I, em pontos distintos para cada codificador ( 0.2 à 0.4 para o WSQ, 0.7 à 0.9 para o JPEG e 0.5 à 1.0 para o JPEG2000).

Ao levarmos estes resultados em consideração, juntamente com o método proposto e o funcionamento de cada codificador, inicialmente reforçamos a conclusão obtida à partir do teste 1, que existe uma completa desconexão entre a qualidade da imagem adquirida e a sua EER, demonstrando um grave defeito nos softwares do NIST. Além deste fator, suspeitamos que a elevação do EER se dá pelo tipo de filtro gaussiano utilizado para borrar as imagens originais, e que uma escolha distinta de filtro possa melhorar o método aqui proposto.

## 7.4 Teste 3

Devido aos sistemas AFIS já existentes conterem uma quantidade significativa de impressões digitais catalogadas, se torna imprescindível avaliar a compatibilidade total das impressões digitais legadas já existentes nos sistemas AFIS e as impressões digitais sem toque. Para isso, elencamos o Teste 3, onde efetuamos o casamento das impressões com toque não roladas, com impressões digitais sem toque multivista processadas pelo algoritmo proposto por este Trabalho. Inicialmente verificamos a qualidade das impressões digitais com toque, as quais nos retornou um índice de Qualidade Média superior às impressões digitais processadas pelo nosso algoritmo, no valor de  $QM = 1.4171$ , o que significa que as imagens são em sua grande maioria consideradas como excelentes (Fig. 6.11(b)), e, em um segundo instante, efetuamos o casamento entre as bases de impressões digitais onde obtivemos um  $EER = 13.47\%$ .

Baseando-se nos dados observados durante este teste, observamos que imagens com toque, mesmo que adquiridas somente por meio de um rápido toque na superfície, foram consideradas como impressões digitais de altíssima qualidade e que ao efetuarmos um casamento entre impressões digitais roladas e não roladas, conseguimos obter um bom EER, visto que a literatura nos apresenta EER entre impressões com contato simples e unha-a-unha por volta de 10% [63].

Desta forma, podemos concluir que os algoritmos desenvolvidos pelo NIST melhor qualificam impressões digitais com toque, mesmo que inferiores às adquiridas sem toque, como sendo excelentes. Mesmo assim, o método aqui proposto se mostrou eficaz no quesito de efetuar a compatibilidade entre as duas tecnologias, possibilitando a utilização de impressões digitais sem toque multivista em sistemas AFIS legados.

## 7.5 Considerações Finais

As contribuições aqui desenvolvidas, mesmo não sendo a solução ideal, demonstram a viabilidade do método proposto e da completa adoção da biometria por impressão digital sem toque por empresas, órgãos e instituições governamentais, além de questionar a real qualidade e acurácia dos *softwares* feitos pelo NIST/FBI. Desta forma, estas contribuições também representam um avanço para o mercado de identificação, proporcionando a criação de novas oportunidades e o desenvolvimento de novos negócios e novas tecnologias, levando a humanidade um passo à frente.

### 7.5.1 Trabalhos futuros

Com o objetivo de continuar evoluindo a tecnologia ao seu estado da arte, algumas melhorias e testes devem ser efetuados, dentre os quais podemos citar:

1. Avaliação de outros algoritmos para impressões digitais com toque;
2. Estudo de outros tipos de filtros para o método proposto;
3. Captura de base de dados de impressões digitais com toque unha-a-unha;
4. Efetuar casamento entre bases de impressões digitais com toque a fim de parametrização dos testes;
5. Efetuar casamento entre impressões digitais unha-a-unha com e sem toque.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GONZALEZ, R.; WOODS, R. *Digital Image Processing*. Pearson/Prentice Hall, 2008. ISBN 9780131687288. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=8uGOnjRGEzoC>>.
- [2] HAYKIN, S.; VEEN, B. V. *SIGNALS AND SYSTEMS, 2ND ED.* Wiley India Pvt. Limited, 2007. ISBN 9788126512652. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=oQgNac7L0oIC>>.
- [3] REINHARD, E. et al. *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. Elsevier Science, 2010. (Morgan Kaufmann series in computer graphics). ISBN 9780080957111. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=wli\\_1kejoYcC](http://books.google.com.br/books?id=wli_1kejoYcC)>.
- [4] JAIN, R.; KASTURI, R.; SCHUNCK, B. G. *Machine vision*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 1995.
- [5] LIU, D.; YU, J. Otsu method and k-means. In: *Hybrid Intelligent Systems, 2009. HIS '09. Ninth International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 1, p. 344–349.
- [6] WAYMAN, J. L. et al. *Biometric systems: technology, design and performance evaluation*. [S.l.]: Springer, 2005.
- [7] SHOKRANIAN, S. *TOPICOS EM METODOS COMPUTACIONAIS. CIENCIA MODERNA*. ISBN 9788573937497. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=xPS9PgAACAAJ>>.
- [8] WEISSTEIN, E. W. *Gaussian Function*. <http://mathworld.wolfram.com/GaussianFunction.html>. [Online; Acessado em 21-Junho-2012].
- [9] CAPPELLI, R. et al. Synthetic fingerprint-image generation. In: *Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2000. v. 3, p. 471–474.
- [10] WATSON, C. et al. *User's Guide to NIST Biometric Image Software*. [S.l.]: NIST, 2008.
- [11] WAYMAN, J. L. Fundamentals of biometric authentication technologies. *Int. J. Image Graphics*, v. 1, n. 1, p. 93–113, 2001. Disponível em: <<http://dblp.uni-trier.de/db/journals/ijig/ijig1.html/Wayman01>>.
- [12] WAYMAN, J. L. 17 technical testing and evaluation of biometric identification devices. *in Networked Society*, Springer, p. 345, 1996.

- [13] PHILLIPS, P. et al. An introduction evaluating biometric systems. *Computer*, v. 33, n. 2, p. 56–63, Feb 2000. ISSN 0018-9162.
- [14] WAYMAN, J. et al. An introduction to biometric authentication systems. In: WAYMAN, J. et al. (Ed.). *Biometric Systems*. [S.l.]: Springer London, 2005. p. 1–20. ISBN 978-1-85233-596-0.
- [15] MANSFIELD, T. et al. Biometric product testing final report. *Contract*, v. 92, n. 4009, p. 309, 2001.
- [16] PHILLIPS, P. J. et al. Face recognition vendor test 2002. In: IEEE. *Analysis and Modeling of Faces and Gestures, 2003. AMFG 2003. IEEE International Workshop on*. [S.l.], 2003. p. 44.
- [17] GALTON, F. *Fingerprints*. [S.l.: s.n.], 1892.
- [18] LEE, H. C.; RAMOTOWSKI, R.; GAENSSLEN, R. *Advances in fingerprint technology*. [S.l.]: CRC press, 2001.
- [19] COLE, S. *Suspect Identities: A History of Criminal Identification and Fingerprinting*. [S.l.]: Cambridge: Harvard University Press, 2001.
- [20] PURKINJI, J. *A commentary on the physiological examination of the organs of vision and the cutaneous system*. Tese (Doutorado) — Breslau University, 1823.
- [21] HERSCHEL, W. J. Skin furrows of the hand. *Nature*, v. 23, p. 76, 1880.
- [22] FAULDS, H. Skin furrows of the hand. *Nature*, v. 22, p. 605, 1880.
- [23] GALTON, F. Personal identification and description. *Nature*, p. 173–177, 201–202, 1888.
- [24] CUMMINS, H.; KENNEDY, R. *Purkinji's observations (1823) on fingerprints and other skin features*. [S.l.]: Am. J. Police Sci., 1940.
- [25] WEGSTEIN, J. *August 1970. Automated fingerprint identification*. [S.l.].
- [26] [S.l.].
- [27] HONG, L.; WAN, Y.; JAIN, A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 20, n. 8, p. 777–789, Aug 1998. ISSN 0162-8828.
- [28] MALTONI, D. et al. *Handbook of fingerprint recognition*. [S.l.]: springer, 2009.
- [29] GABOR, D. Theory of communication. *Electrical Engineers-Part III, IET*, v. 93, n. 3, p. 429–457, 1946.
- [30] LAM, L.; LEE, S.-W.; SUEN, C. Thinning methodologies-a comprehensive survey. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 14, n. 9, p. 869–885, Sep 1992. ISSN 0162-8828.

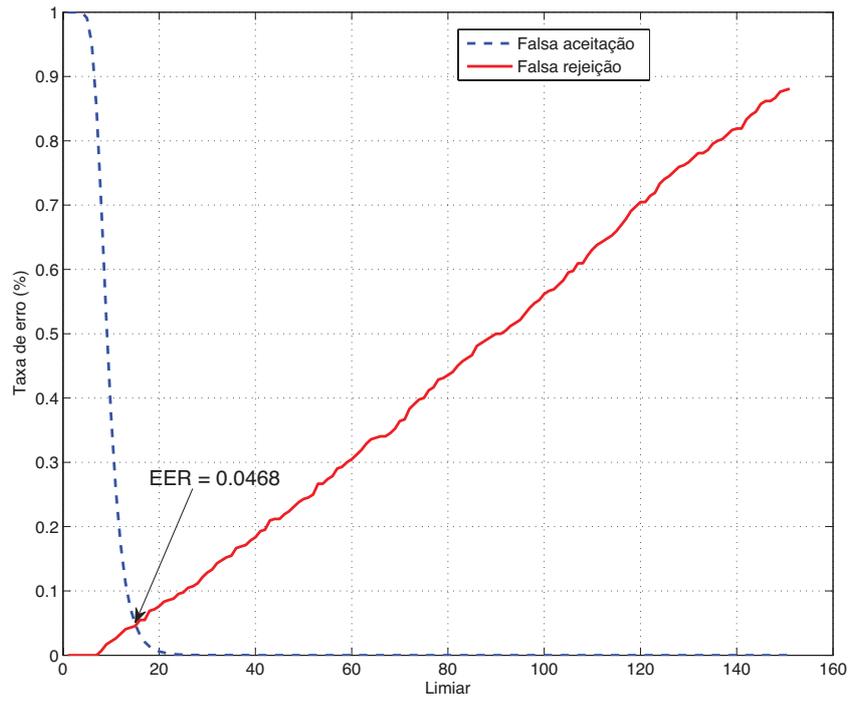
- [31] MAIO, D.; MALTONI, D. Direct gray-scale minutiae detection in fingerprints. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 19, n. 1, p. 27–40, Jan 1997. ISSN 0162-8828.
- [32] ROSENFELD, A. *Digital Image Processing*. [S.l.]: Academic Press, 1997.
- [33] THIEME, M. *ISO/IEC 19795-2 Biometric Performance Testing and Reporting: Scenario Testing, cd2 ed., JTC1/SC37/Working Group 5, Aug. 2005*.
- [34] KAWAGOE, M.; TOJO, A. Fingerprint pattern classification. *Pattern Recognition*, Elsevier, v. 17, n. 3, p. 295–303, 1984.
- [35] KARU, K.; JAIN, A. K. Fingerprint classification. *Pattern recognition*, Elsevier, v. 29, n. 3, p. 389–404, 1996.
- [36] MILGRAM, D. Computer methods for creating photomosaics. *Computers, IEEE Transactions on*, C-24, n. 11, p. 1113–1119, Nov 1975. ISSN 0018-9340.
- [37] CHEN, Y. et al. 3d touchless fingerprints: Compatibility with legacy rolled images. In: *Biometric Consortium Conference, 2006 Biometrics Symposium: Special Session on Research at the*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 1–6.
- [38] FRANCISCO, N. et al. Compression of touchless multiview fingerprints. In: *Biometric Measurements and Systems for Security and Medical Applications (BIOMS), 2011 IEEE Workshop on*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–5.
- [39] HUFFMAN, D. A. et al. A method for the construction of minimum redundancy codes. *proc. IRE*, v. 40, n. 9, p. 1098–1101, 1952.
- [40] SMITH, B. C.; ROWE, L. A. Algorithms for manipulating compressed images. *Computer Graphics and Applications, IEEE, IEEE*, v. 13, n. 5, p. 34–42, 1993.
- [41] STRANG, G.; NGUYEN, T. *Wavelets and filter banks*. [S.l.]: SIAM, 1996.
- [42] YU, J. Advantages of uniform scalar dead-zone quantization in image coding system. In: *Communications, Circuits and Systems, 2004. ICCCAS 2004. 2004 International Conference on*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 2, p. 805–808 Vol.2.
- [43] TAUBMAN, D. S.; MARCELLIN, M. W.; RABBANI, M. Jpeg2000: Image compression fundamentals, standards and practice. *Journal of Electronic Imaging*, v. 11, n. 2, p. 286–287, 2002.
- [44] SULLIVAN, G.; WIEGAND, T. Rate-distortion optimization for video compression. *Signal Processing Magazine, IEEE*, v. 15, n. 6, p. 74–90, Nov 1998. ISSN 1053-5888.
- [45] CHARRIER, M.; CRUZ, D.; LARSSON, M. Jpeg2000, the next millennium compression standard for still images. In: *Multimedia Computing and Systems, 1999. IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 1, p. 131–132 vol.1.

- [46] MARPE, D.; SCHWARZ, H.; WIEGAND, T. Context-based adaptive binary arithmetic coding in the h.264/avc video compression standard. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, v. 13, n. 7, p. 620–636, July 2003. ISSN 1051-8215.
- [47] QUEIROZ, R. D. et al. Fringe benefits of the h.264/avc. In: *Telecommunications Symposium, 2006 International*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 166–170.
- [48] MARPE, D.; GEORGE, V.; WIEGAND, T. Performance comparison of intra-only h. 264/avc and jpeg2000 for a set of monochrome iso/iec test images. *Contribution JVT ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, JVT M*, v. 14, 2004.
- [49] MARPE, D. et al. Performance evaluation of motion-jpeg2000 in comparison with h. 264/avc operated in pure intracoding mode. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Photonics Technologies for Robotics, Automation, and Manufacturing*. [S.l.], 2004. p. 129–137.
- [50] SAYOOD, K. *Introduction to data compression*. [S.l.]: Newnes, 2012.
- [51] KINGSBURY, N. *JPEG Entropy Coding*. [S.l.], 2006. Disponível em: <<http://cnx.org/content/m11096/2.4/>>.
- [52] HOPPER, T.; BRISLAWN, C.; BRADLEY, J. Wsq gray-scale fingerprint image compression specification. *FBI, IAFIS-IC-0110-v2*, 1993.
- [53] RICHARDSON, I. E. *H. 264 and MPEG-4 video compression: video coding for next-generation multimedia*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.
- [54] AHMED, N.; NATARAJAN, T.; RAO, K. R. Discrete cosine transform. *Computers, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 100, n. 1, p. 90–93, 1974.
- [55] LEWIS, A. S.; KNOWLES, G. Image compression using the 2-d wavelet transform. *Image Processing, IEEE Transactions on*, IEEE, v. 1, n. 2, p. 244–250, 1992.
- [56] BRACEWELL, R. N.; BRACEWELL, R. *The Fourier transform and its applications*. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 1986.
- [57] WATSON, C. et al. The nbis-ec software is subject to us export control laws. *NIST, Gaithersburg, MD, USA, Tech. Rep*, Citeseer, v. 1, p. 2, 2007.
- [58] WATSON, C. I. et al. User’s guide to nist biometric image software (nbis). Citeseer, 2007.
- [59] DIS, I. 10918-1. digital compression and coding of continuous-tone still images (jpeg). *CCITT Recommendation T*, v. 81, 1991.
- [60] OSTERMANN, J. et al. Video coding with h.264/avc: tools, performance, and complexity. *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, v. 4, n. 1, p. 7–28, First 2004. ISSN 1531-636X.
- [61] WIEGAND, T. et al. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, v. 13, n. 7, p. 688–703, July 2003. ISSN 1051-8215.

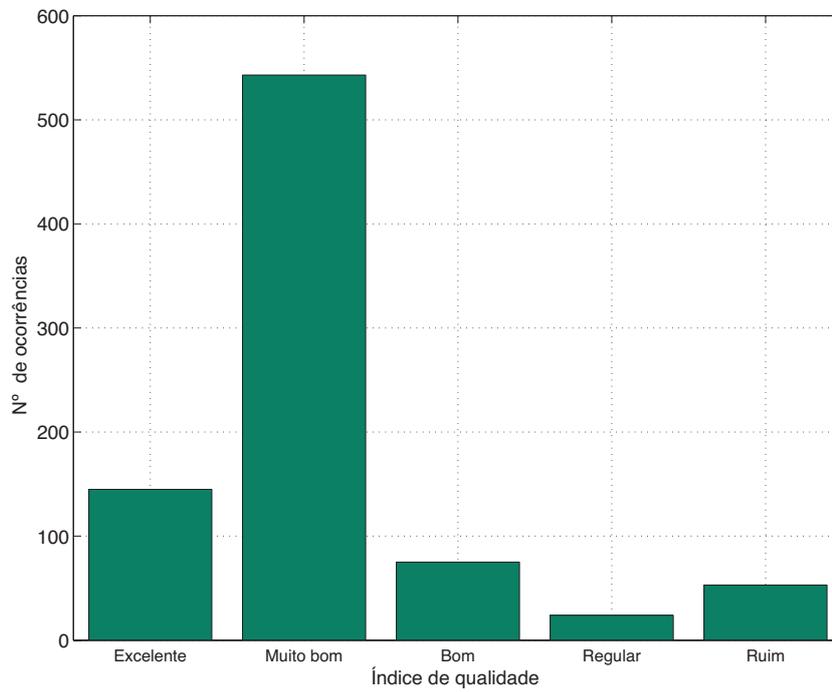
- [62] BORZA, S. *Imaging device, especially for optical fingerprinting*. Google Patents, ago. 6 2002. US Patent 6,429,927. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US6429927>>.
- [63] CAPPELLI, R. et al. Performance evaluation of fingerprint verification systems. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 28, n. 1, p. 3–18, Jan 2006. ISSN 0162-8828.

# ANEXOS

# I. DETALHES DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

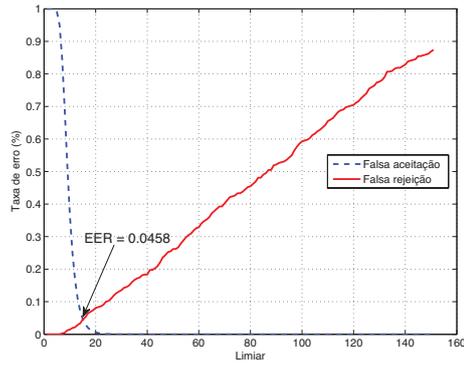


(a) Gráfico do EER para a base de dados 3D

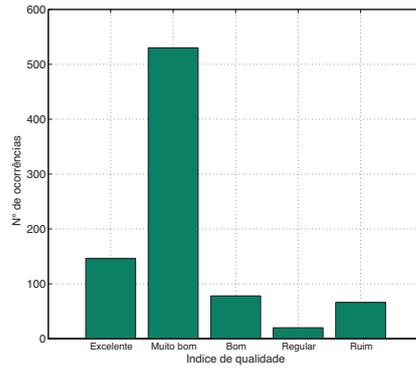


(b) Gráfico da Qualidade para a base de dados 3D

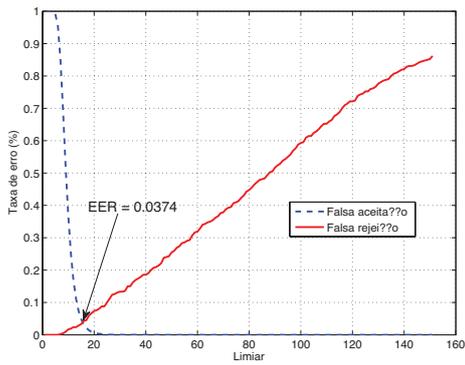
Figura I.1: Gráficos dos resultados obtidos para o teste 1 com os melhores parâmetros



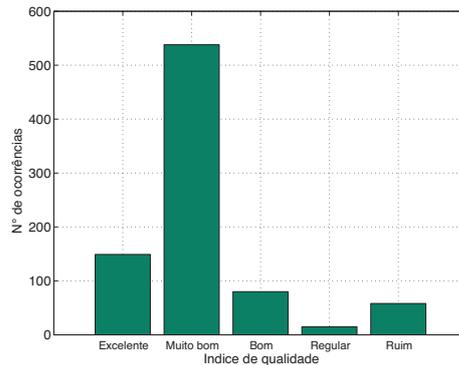
(a) EER à 0.1428 bpp



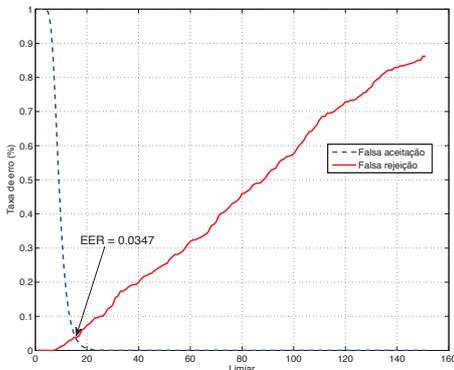
(b) Qualidade à 0.1428 bpp



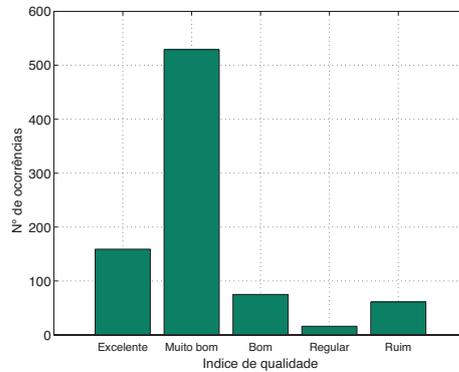
(c) EER à 0.2502 bpp



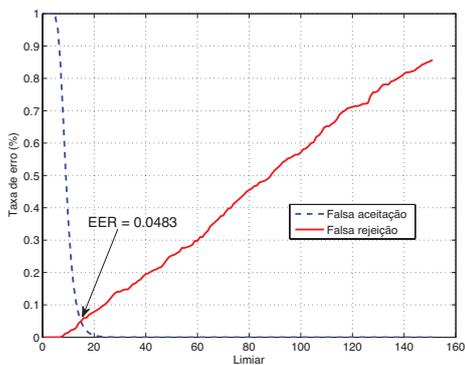
(d) Qualidade à 0.2502 bpp



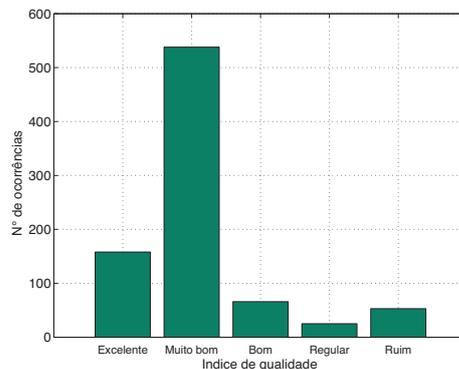
(e) EER à 0.3849 bpp



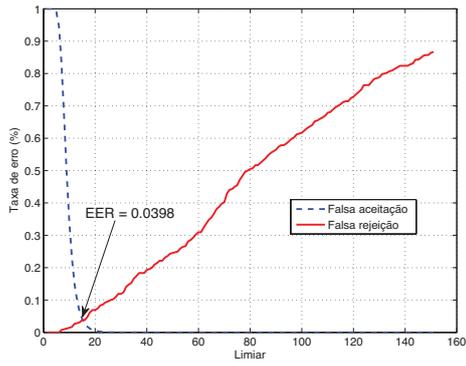
(f) Qualidade à 0.3849 bpp



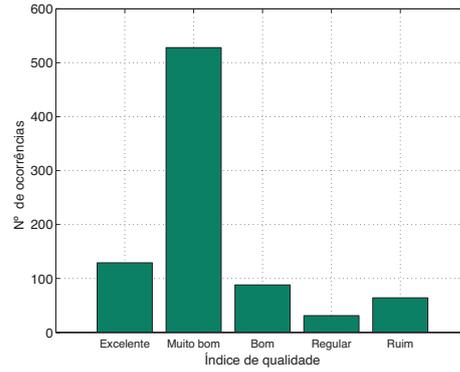
(g) EER à 0.4543 bpp



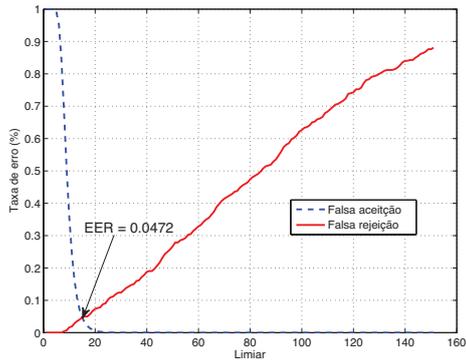
(h) Qualidade à 0.4543 bpp



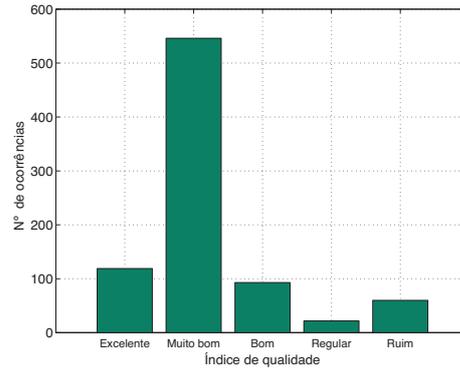
(a) EER à 0.9972 bpp



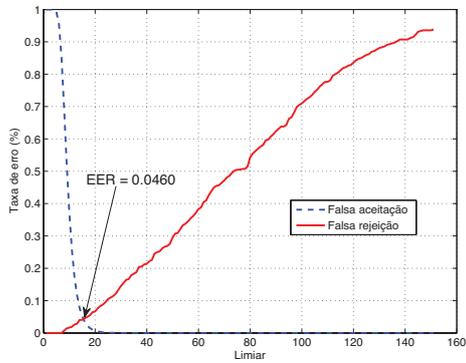
(b) Qualidade à 0.9972 bpp



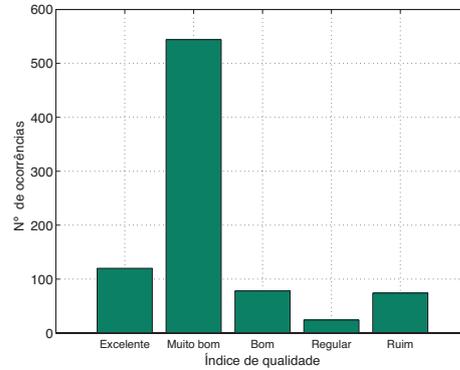
(c) EER à 0.4978 bpp



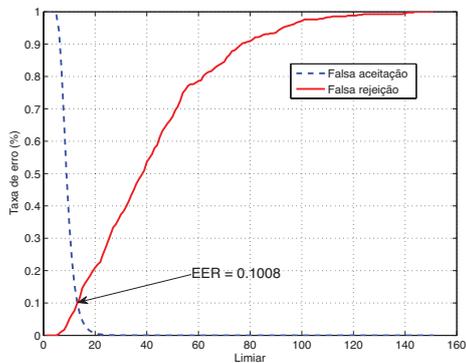
(d) Qualidade à 0.4978 bpp



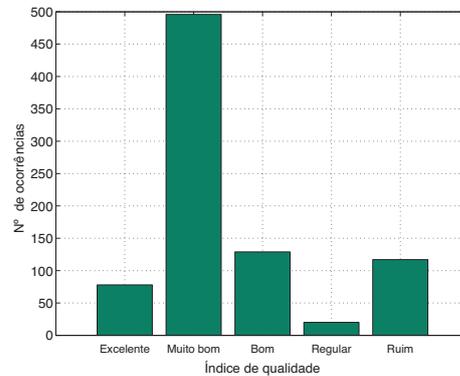
(e) EER à 0.2480 bpp



(f) Qualidade à 0.2480 bpp

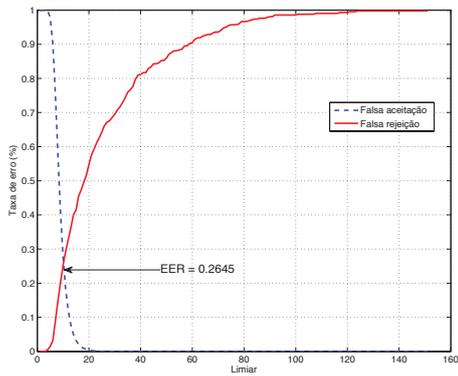


(g) EER à 0.0986 bpp

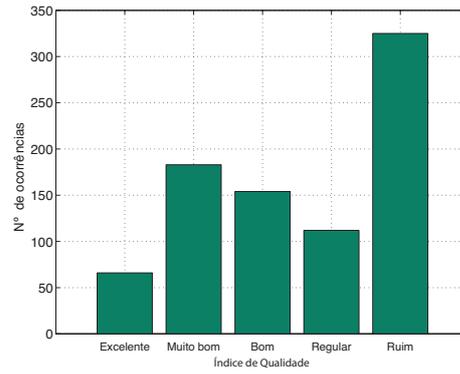


(h) Qualidade à 0.0986 bpp

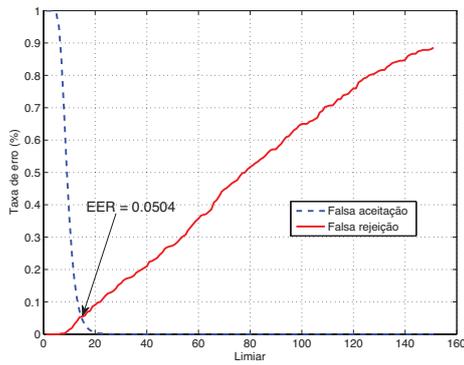
Figura I.3: Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador JPEG2000



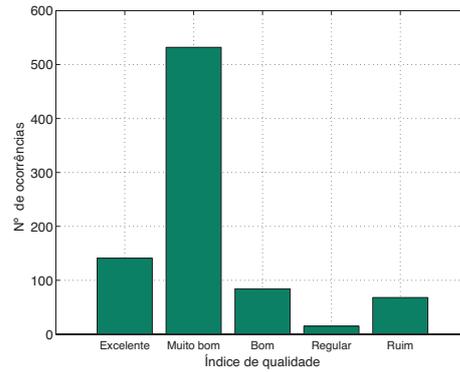
(a) EER à 0.1613 bpp



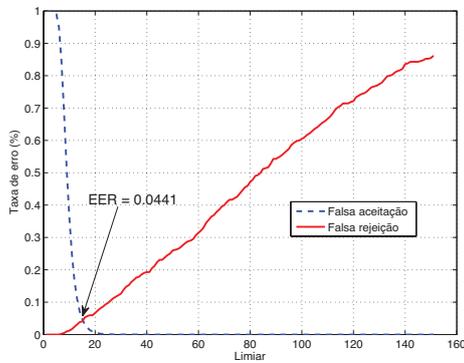
(b) Qualidade à 0.1613 bpp



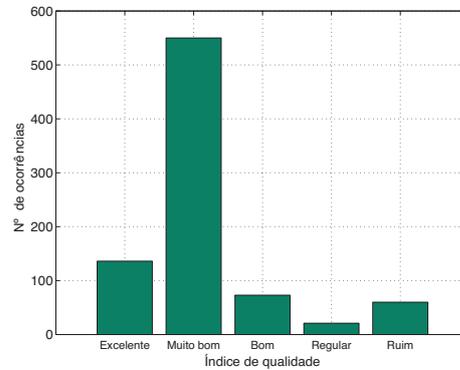
(c) EER à 0.4677 bpp



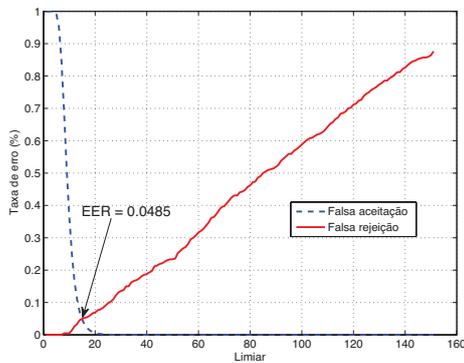
(d) Qualidade à 0.4677 bpp



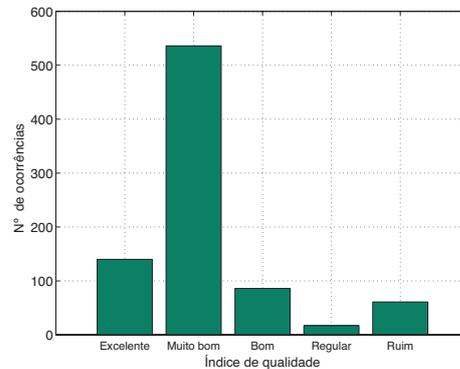
(e) EER à 0.7067 bpp



(f) Qualidade à 0.7067 bpp

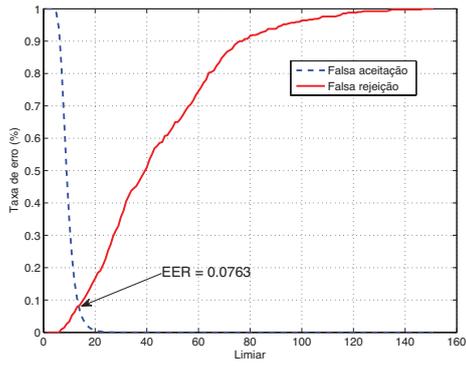


(g) EER à 0.9492 bpp

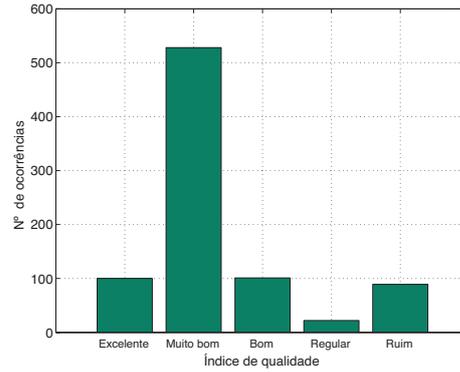


(h) Qualidade à 0.9492 bpp

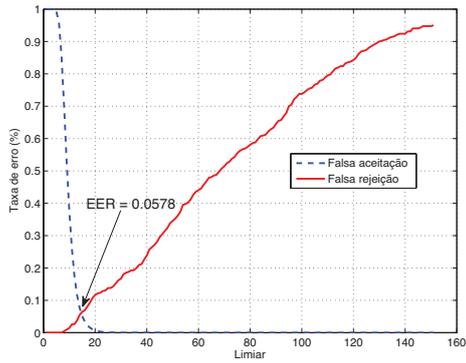
Figura I.4: Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador JPEG



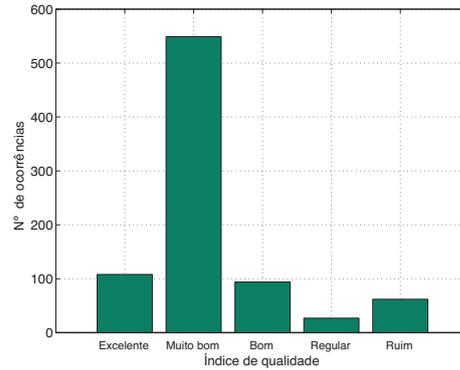
(a) EER à 0.0985 bpp



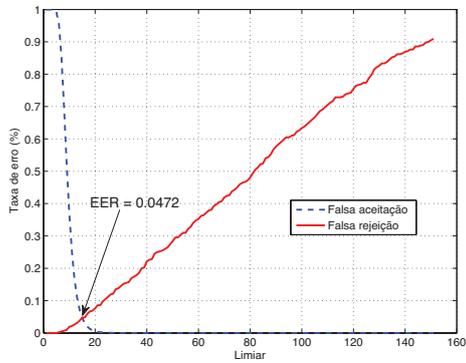
(b) Qualidade à 0.0985 bpp



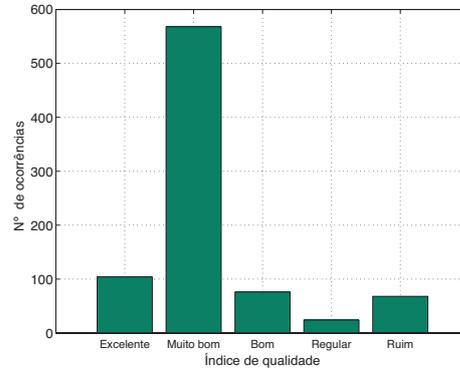
(c) EER à 0.2130 bpp



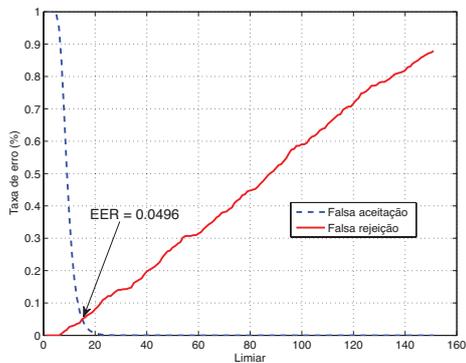
(d) Qualidade à 0.2130 bpp



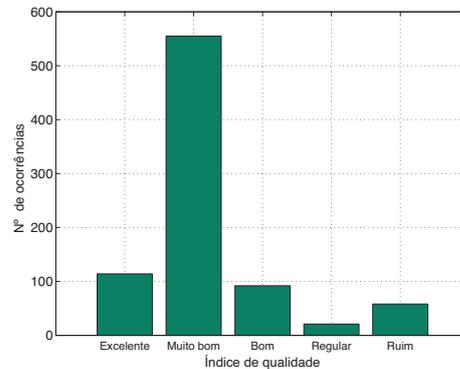
(e) EER à 0.4065 bpp



(f) Qualidade à 0.4065 bpp



(g) EER à 0.7925 bpp



(h) Qualidade à 0.7925 bpp

Figura I.5: Gráficos dos resultados obtidos para o teste 2 para o codificador WSQ

## II. DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD

No CD que acompanha este Trabalho em sua forma física, existem 2 principais arquivos:

1. Monografia no formato PDF;
2. Resumo deste Trabalho.