

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

IVAN OLIVEIRA LOPES

**MARDI: MARCA D'ÁGUA DIGITAL ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO  
DE IMAGENS - UMA PROPOSTA PARA AUMENTAR A ROBUSTEZ  
DE TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL**

Ilha Solteira

2018

IVAN OLIVEIRA LOPES

**MARDI: MARCA D'ÁGUA DIGITAL ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO  
DE IMAGENS - UMA PROPOSTA PARA AUMENTAR A ROBUSTEZ  
DE TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -  
UNESP - Campus de Ilha Solteira como parte  
dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de Doutor em Engenharia Elétrica.  
Área de Conhecimento: Automação.

Prof. Dr. Alexandre César Rodrigues da Silva  
Orientador

Ilha Solteira  
2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

L864m      Lopes, Ivan Oliveira.  
MARDI: marca d'água digital robusta via decomposição de imagens: uma proposta para aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital / Ivan Oliveira Lopes. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
149 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2018

Orientador: Alexandre César Rodrigues da Silva  
Inclui bibliografia

1. Marca d'água digital. 2. Decomposição de imagens. 3. Proteção de Direitos autorais. 4. Verificação de autenticidade. 5. Robustez.

*Raiane da Silva Santos*  
Raiane da Silva Santos

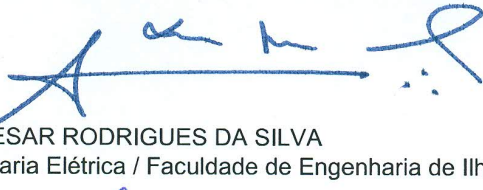
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: MARDI: MARCA D'ÁGUA DIGITAL ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS -  
UMA PROPOSTA PARA AUMENTAR A ROBUSTEZ DE TÉCNICAS DE MARCA  
D'ÁGUA DIGITAL

**AUTOR: IVAN OLIVEIRA LOPES**

**ORIENTADOR: ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ENGENHARIA  
ELÉTRICA, área: AUTOMAÇÃO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ALEXANDRE CESAR RODRIGUES DA SILVA  
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



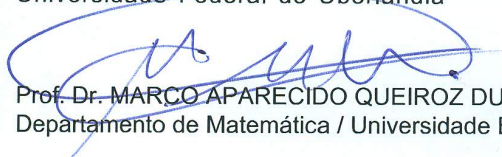
Prof. Dr. FRANCISCO VILLARRÉAL ALVARADO  
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. NORIAN MARRANGHELLO  
Departamento de Ciência de Computação e Estatística / Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas



Prof. Dr. LAURENCE RODRIGUES DO AMARAL  
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, FACOM - Faculdade de Ciências da Computação / UFU -  
Universidade Federal de Uberlândia



Prof. Dr. MARCO APARECIDO QUEIROZ DUARTE  
Departamento de Matemática / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 27 de julho de 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela vida que me deu e por me guiar, abençoar e dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos, sempre me ajudando a superar as dificuldades.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e incentivaram, possibilitando que eu conseguisse chegar a tal grau de instrução e conhecimento. Muito obrigado.

A minha esposa, Juliana de Fátima Franciscani, pelo companheirismo, dedicação e amor destinados a mim, tanto na vida acadêmica/profissional como na vida pessoal. Você é a maior responsável pelas conquistas mais significativas que alcancei. Obrigado por sempre estar ao meu lado me fortalecendo. Te amo.

Ao meu filho Arthur, que em todas as manhãs, com um único sorriso, me dá forças para lutar e me tornar uma pessoa melhor. A minha filha Clara, que a cada dia me faz querer ser o melhor homem do mundo. Vocês são a razão de todas as minhas atitudes.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre César Rodrigues da Silva, por me dar a oportunidade de trabalharmos juntos, pela confiança, amizade e apoio em todos os momentos de necessidade, o senhor é um grande exemplo de profissional.

Ao Instituto Federal de São Paulo, por propiciar a possibilidade de dedicação aos estudos em tempo integral.

## RESUMO

Com a crescente evolução dos equipamentos eletrônicos, muitos dados digitais têm sido produzidos, copiados e distribuídos com facilidade, gerando uma grande preocupação com a sua segurança. Dentre as várias técnicas usadas para proteger os dados digitais, tem-se as técnicas de inserção e extração de marca d'água em imagens digitais. Uma marca d'água pode ser qualquer informação como, por exemplo, um código, um logotipo, ou uma sequência aleatória de letras e números, que vise garantir a autenticidade e a proteção dos direitos autorais dos dados. Neste trabalho, estudou-se sobre as técnicas existentes de inserção e extração de marca d'água digital, abordando desde seu conceito até o desenvolvimento de algoritmos de inserção e extração de marca d'água em imagens digitais. Desenvolveu-se um método para aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital pela decomposição da imagem em duas partes: estrutural (áreas homogêneas) e de detalhes (áreas com ruídos, texturas e bordas). Contudo, a marca d'água é inserida na parte de detalhes por se tratar de áreas menos afetadas por operações de processamento digital de imagens. Os resultados mostraram que o método proposto aumentou a robustez das técnicas da marca d'água testadas. Baseado nos resultados obtidos, desenvolveu-se uma nova técnica de marca d'água digital, utilizando a transformada discreta de *wavelets*, a decomposição de imagens e a transformada discreta do cosseno.

**Palavras-chave:** Marca d'água digital. Decomposição de imagens. Proteção de direitos autorais. Verificação de autenticidade. Robustez.

## **ABSTRACT**

With the increasing evolution of technological equipment, many digital data have been easily produced, copied and distributed by generating a great concern for their security. Among the various techniques used to protect the digital data, there are techniques for inserting and extracting a watermark into digital images. A watermark can be any information, such as a code, a logo, or a random sequence of letters and numbers, aiming to ensure the authenticity and copyright protection. In this work are studied, existing insertion and extraction techniques in digital watermarking, by covering from its concept to the development of watermark insertion and extraction algorithms, in digital images. A method was developed to increase the robustness of digital watermarking techniques by decomposing the image into two parts: structural (homogeneous areas) and details (areas with noises, textures and edges). However, the watermark is inserted in the detail area due to be less affected areas by digital image processing. The results showed that the proposed method increased the robustness of the tested watermarking techniques. Based on the results obtained, we developed a new digital watermark technique using discrete wavelet transform, image decomposition and discrete cosine transform.

**Keywords:** Digital watermarking. Image decomposition. Copyright protection. Authenticity verification. Robustness.

## LISTA DE FIGURAS

1	Exemplo de imagem criptografada.	20
2	Exemplo de marca d'água visível.	25
3	Fluxograma geral de um sistema de inserção de marca d'água digital invisível.	27
4	Fluxograma geral de um sistema de extração de marca d'água digital invisível.	28
5	Exemplo de imagem marcada para a verificação de autenticidade.	29
6	Exemplo de imagem marcada para a proteção de direitos autorais.	31
7	Exemplo de imagem marcada para a comunicação escondida.	32
8	Exemplo de sequência aleatória utilizada como marca d'água.	36
9	Exemplo de imagem utilizada como marca d'água.	36
10	Exemplo de marca d'água replicada.	37
11	Exemplo de inserção da técnica de Yeung e Mintzer.	40
12	Exemplo de imagem não adulterada, técnica de Yeung e Mintzer.	42
13	Exemplo de imagem que sofreu adulteração, técnica de Yeung e Mintzer.	43
14	Fluxograma do algoritmo de inserção da técnica de Wong.	44
15	Fluxograma do algoritmo de extração da técnica de Wong.	45
16	Exemplo de imagem autêntica, técnica de Wong.	46
17	Exemplo de imagem que sofreu adulteração, técnica de Wong.	47
18	Exemplo de imagem que teve alguns valores de píxeis alterados, técnica de Wong.	48
19	Exemplo de imagem que foi recortada, técnica de Wong.	48
20	Exemplo de imagem em que uma chave incorreta foi utilizada, técnica de Wong.	49
21	Exemplo de decomposição de imagens.	58



22	Fluxograma de inserção da técnica de Cox <i>et al.</i>	60
23	Fluxograma de inserção do método MARDI, baseado em Cox <i>et al.</i>	60
24	Fluxograma de extração da técnica de Cox <i>et al.</i>	62
25	Fluxograma de extração do método MARDI, baseado em Cox <i>et al.</i>	62
26	Resultados obtidos com a implementação do método MARDI e técnica de Cox <i>et al.</i>	65
27	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox <i>et al.</i>	66
28	Fluxograma de inserção da técnica proposta por Lopes <i>et al.</i>	69
29	Fluxograma de extração da técnica proposta por Lopes <i>et al.</i>	70
30	Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado à técnica de Lopes <i>et al.</i>	71
31	Fluxograma de extração do método MARDI aplicado à técnica de Lopes <i>et al.</i>	71
32	Resultados obtidos com a implementação da técnica proposta por Lopes <i>et al.</i>	72
33	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Lopes <i>et al.</i>	74
34	Fluxograma de inserção da técnica baseada em Koch e Zhao.	75
35	Fluxograma de extração da técnica baseada em Koch e Zhao.	75
36	Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado em Koch e Zhao.	76
37	Fluxograma de extração do método MARDI aplicado em Koch e Zhao.	76
38	Resultados obtidos com a implementação da técnica baseada em Koch e Zhao.	78
39	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Koch e Zhao.	80
40	Fluxograma de inserção da técnica de Shoemaker.	81
41	Fluxograma de extração da técnica de Shoemaker.	81
42	Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado em Shoemaker.	82

43	Fluxograma de extração do método MARDI aplicado em Shoemaker.	82
44	Resultados obtidos com a implementação da técnica de Shoemaker.	83
45	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Shoemaker.	85
46	Fluxograma de inserção da técnica de Cox <i>et al.</i> , utilizando DFT.	86
47	Fluxograma de extração da técnica de Cox <i>et al.</i> , utilizando DFT.	86
48	Fluxograma de inserção do método MARDI, utilizando DFT.	87
49	Fluxograma de extração do método MARDI, utilizando DFT.	87
50	Resultados obtidos com a implementação da técnica de Cox <i>et al.</i> com a utilização da DFT.	88
51	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox <i>et al.</i> (1997) com a utilização da DFT.	89
52	Fluxograma de inserção da técnica MARDI-DWT-DCT.	93
53	Fluxograma de extração da técnica MARDI-DWT-DCT.	94
54	Fluxograma de inserção da técnica DWT-DCT.	96
55	Fluxograma de extração da técnica DWT-DCT.	97
56	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT.	99
57	Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT.	100
58	Imagens originais utilizadas nos testes da técnica MARDI-DWT-DCT.	101
59	Imagens utilizadas como marca d'água nos testes da técnica MARDI-DWT-DCT.	101
60	Gráfico com a média dos valores de NCC das técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT, após serem aplicadas em 10 imagens originais, com 4 marcas d'água distintas.	102
61	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 1).	111
62	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 2).	112

63	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 3).	113
64	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 4).	114
65	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 1).	115
66	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 2).	116
67	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 3).	117
68	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 4).	118
69	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 1).	119
70	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 2).	120
71	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 3).	121
72	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 4).	122
73	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 1).	123
74	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 2).	124
75	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 3).	125
76	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 4).	126
77	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 1).	127

78	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 2).	128
79	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 3).	129
80	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 4).	130
81	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 1).	131
82	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 2).	132
83	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 3).	133
84	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 4).	134
85	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 1).	135
86	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 2).	136
87	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 3).	137
88	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 4).	138
89	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 1).	139
90	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 2).	140
91	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 3).	141
92	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 4).	142

93	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 1).	143
94	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 2).	144
95	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 3).	145
96	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 4).	146
97	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 1).	147
98	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 2).	148
99	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 3).	149
100	Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 4).	150

## LISTA DE TABELAS

1	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox <i>et al.</i>	66
2	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Lopes <i>et al.</i>	73
3	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Koch e Zhao.	79
4	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Shoemaker.	84
5	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox <i>et al.</i> (1997) com a utilização da DFT.	89
6	Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT.	100
7	Tabela com a média dos valores de NCC das técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT, após serem aplicadas em 10 imagens originais, com 4 marcas d'água distintas.	102

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>CSF</i>	<i>Function Contrast Sensitivity</i>
<i>CT</i>	<i>Contourlet Transform</i>
<i>DCT</i>	<i>Discrete Cosine Transform</i>
<i>DFT</i>	<i>Discrete Fourier Transform</i>
<i>DFrCT</i>	<i>Discrete Fractional Cosine Transform</i>
<i>DHT</i>	<i>Discrete Fourier Transform</i>
<i>DWT</i>	<i>Discrete Hadamard Transform</i>
<i>FFT</i>	<i>Fast Fourier Transform</i>
<i>FRFT</i>	<i>Fractional Fourier Transform</i>
<i>FSK</i>	<i>Frequency Shift Keying</i>
<i>GRNN</i>	<i>General Regression Neural Network</i>
<i>H</i>	Imagem Original
$H^{DCT}$	Imagem Original no Domínio da Frequência (Cosseno)
$H^{DFT}$	Imagem Original no Domínio da Frequência (Fourier)
<i>HB</i>	Bloco e Sub-blocos de uma Imagem Original
$HB^{DCT}$	Bloco e Sub-bloco da Imagem Original no Domínio da Frequência
$HBW^{DCT}$	Bloco e Sub-bloco da Imagem Marcada no Domínio da Frequência
<i>HS</i>	Imagem Decomposta em Parte Estrutural
<i>HSLL</i>	Banda LL de <i>Wavelets</i> Suavizada
<i>HT</i>	Imagem Decomposta em Parte de Detalhes
$HT^{DCT}$	Imagem de Detalhes no Domínio da Frequência
<i>HTLL</i>	Banda LL de <i>Wavelets</i> Detalhes
$HTLL^{DCT}$	Banda LL de <i>Wavelets</i> Detalhes no Domínio da Frequência
<i>HTW</i>	Imagem de Detalhes Marcada

$HTW^{DCT}$	Imagem de Detalhes Marcada no Domínio da Frequência
$HTWLL$	Banda LL de <i>Wavelets</i> Detalhes Marcada
$HTWLL^{DCT}$	Banda LL de <i>Wavelets</i> Detalhes Marcada no Domínio da Frequência
$HW^{DCT}$	Imagem Marcada no Domínio da Frequência (Cosseno)
$HW^{DFT}$	Imagem Marcada no Domínio da Frequência (Fourier)
$HWA$	Imagem Marcada Atacada
$HWLL$	Banda LL de <i>Wavelets</i> Marcada
$HWHL$	Banda HL de <i>Wavelets</i> Marcada
$HWLH$	Banda LH de <i>Wavelets</i> Marcada
$HWHH$	Banda HH de <i>Wavelets</i> Marcada
$HVS$	<i>Human Visual System</i>
$HW$	Imagem Marcada
$IDCT$	<i>Inverse Discrete Cosine Transform</i>
$IDFT$	<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>
$IDWT$	<i>Inverse Discrete Wavelets Transform</i>
$LSB$	<i>Least Significant Bit</i>
$LUT$	<i>Look-Up-Table</i>
$MD5$	<i>Message Digest 5</i>
$NCC$	Coefficiente de Correlação Normalizado
$QF$	<i>Quantify Factor</i>
$RGB$	<i>Red, Green, Blue</i>
$RNA$	Rede Neural Artificial
$SVD$	<i>Singular Value Decomposition</i>
$VSTW$	<i>Varying Sized Transform Window</i>
$W$	Marca d'água
$WBCT$	<i>Wavelets Based Contourlet Transform</i>
$WEX$	Marca d'água Extraída
$XOR$	Ou Exclusivo
$\alpha$	Fator Escalar



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>MARCA D'ÁGUA DIGITAL: INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
2.1	PRINCÍPIOS E CONCEITOS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL	23
2.2	PROPRIEDADES DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL	25
2.3	INSERÇÃO E EXTRAÇÃO DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL	27
2.4	APLICAÇÕES DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL	28
2.4.1	<b>Verificação de Autenticidade</b>	<b>28</b>
2.4.2	<b>Proteção de direitos autorais</b>	<b>30</b>
2.4.3	<b>Controle de cópia</b>	<b>30</b>
2.4.4	<b>Comunicação escondida</b>	<b>31</b>
2.5	TIPOS DE ATAQUES A IMAGENS DIGITAIS	32
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL</b>	<b>34</b>
3.1	ONDE INSERIR A MARCA D'ÁGUA	34
3.2	O QUE INSERIR COMO MARCA D'ÁGUA	35
3.3	TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA NO DOMÍNIO DO ESPAÇO	36
<b>3.3.1</b>	<b>Principais Técnicas de Marca d'água Frágil</b>	<b>39</b>
3.3.1.1	<i>Técnica de Yeung e Mintzer</i>	39
3.3.1.2	<i>Técnica de Wong</i>	42
3.4	TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA	49

4	<b>MARDI - MARCA D'ÁGUA ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS</b>	<b>55</b>
4.1	DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS	55
4.2	MÉTODO DE INSERÇÃO DE MARCA D'ÁGUA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS	58
4.2.1	Algoritmo de Inserção da Marca d'água via Decomposição de Imagens.	59
4.2.2	Algoritmo de Extração da Marca d'água via Decomposição de Imagens.	61
4.3	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE COX <i>ET AL.</i>	63
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES DO MÉTODO MARDI</b>	<b>68</b>
5.1	APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE LOPES <i>ET AL.</i>	68
5.2	APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE KOCH E ZHAO.	74
5.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE SHOEMAKER.	80
5.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE COX <i>ET AL.</i> UTILIZANDO DFT.	85
6	<b>MARCA D'ÁGUA ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS UTILIZANDO A TRANSFORMADA DISCRETA DE <i>WAVELETS</i> E A TRANSFORMADA DISCRETA DO COSSENO - MARDI-DWT-DCT</b>	<b>91</b>
6.1	MÉTODO DE INSERÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA MARDI-DWT-DCT	91
6.2	MÉTODO DE EXTRAÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA MARDI-DWT-DCT	93
6.3	MÉTODO DE INSERÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA DWT-DCT	95

6.4	MÉTODO DE EXTRAÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA DWT-DCT	96
6.5	RESULTADOS E COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS MARDI-DWT-DCT E DWT-DCT	98
7	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A - RESULTADOS DE COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS MARDI-DWT-DCT E DWT-DCT APLICADAS EM 10 IMAGENS ORIGINAIS, COM 4 MARCAS D'ÁGUA.	110

# 1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, com o uso da Internet e dos equipamentos eletrônicos como celulares, câmeras digitais, *tablets* e computadores, várias operações do cotidiano passaram a ser digitais. Estão presentes em praticamente todas as esferas de nossa vida, como no comércio (*e-commerce*), nos bancos (*e-banking*), na saúde (*e-healthcare*), na esfera governamental (*e-government*), e no ensino (*e-learning*) (PARAH et al., 2017).

As tecnologias digitais estão presentes em praticamente tudo o que fazemos, fato que tem possibilitado um aumento significativo na aquisição, reprodução e transmissão de dados digitais (imagens, textos, vídeos e áudios). Sendo assim, algumas preocupações quanto a segurança digital surgiram e algumas questões podem ser analisadas:

- Como garantir que um dado digital é autêntico?
- Como garantir proteção a direitos autorais de dados digitais?
- Como saber se um dado digital foi plagiado?

Para responder essas questões, foram criadas e estudadas técnicas que pudessem proteger ou garantir a veracidade das informações. Atualmente, existem diversas técnicas para prover proteção aos dados digitais, entre as mais conhecidas, estão as técnicas de criptografia.

Essas técnicas podem garantir boa proteção aos dados digitais. Entretanto, essa proteção não é aplicada no dado digital em seu formato original. Isso porque as técnicas de criptografia embaralham os dados não os deixando distinguíveis para pessoas não autorizadas. Para visualizar o conteúdo, uma pessoa autorizada utiliza de uma chave para decriptografar o dado, voltando-o para seu estado original (JOSHI; PATRIKAR; MISHRA, 2012).

As técnicas de criptografia são muito efetivas para proteger um dado digital no momento de sua transmissão. Porém, quando esse dado é decriptografado, torna-se

novamente vulnerável e sujeito a fraudes (NASRIN; KHOO; RASSEM, 2016). Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de uma imagem criptografada. Na Figura 1(a), pode ser visualizada uma imagem em seu formato original, enquanto na Figura 1(b), visualiza-se a mesma imagem após processo de criptografia, sendo impossível decifrar suas informações.

**Figura 1** – Exemplo de imagem criptografada.



(a)Imagem Original.

(b)Imagem Criptografada.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para proteger os dados digitais em seus formatos originais, técnicas de marca d'água digital têm sido utilizadas (NASRIN; KHOO; RASSEM, 2016). Essas técnicas têm como propósito inserir informação adicional, um logotipo, um número de série, ou uma assinatura digital, sobre os dados multimídia que se pretende proteger (SINGH; DEVI; SINGH, 2013; ANDALIBI; CHANDLER, 2015; BAJRACHARYA; KOJU, 2017; SINGH, 2017).

Nas técnicas de marca d'água digital, a informação inserida poderá ser extraída do dado protegido a qualquer momento, podendo então, ser feita alguma afirmação sobre o dado em questão (TAO et al., 2014; NAIK; TIGADI; GUHILOT, 2015; SINGH, 2017). A extração da informação inserida é necessária, por exemplo, para requerer direitos autorais, por meio da identificação de autor ou proprietário de um produto (dado), ou para verificar a integridade do dado digital.

Devido as características de cada sistema, técnicas de criptografia e marca d'água digital podem ser utilizadas para se completarem, uma protegendo os dados no momento de sua transmissão (criptografia) e outra protegendo os dados em seu formato original (marca d'água).

Existem diversas técnicas de marca d'água digital, frequentemente pesquisadores de todo o mundo trabalham aprimorando e desenvolvendo novas técnicas que podem ser aplicadas em áudios, vídeos, textos ou imagens (SINGH, 2017). Este trabalho é focado nas técnicas de marca d'água aplicadas em imagens digitais. Sendo assim, o termo marca d'água sempre será usado em referência as técnicas de marca d'água aplicadas em imagens digitais.

As técnicas de marca d'água podem ser divididas em visível, invisível frágil e invisível robusta (KHAN et al., 2012; NARGUNDKAR, 2016).

Técnicas de marca d'água visíveis são as mais utilizadas atualmente, entretanto oferecem pouca proteção, pois, como são visíveis, é fácil de serem removidas utilizando simples operações de processamento de imagens, como um recorte. Desta forma, as marcas d'água visíveis são utilizadas, geralmente, apenas como sinal de advertência, informando que a imagem é de um determinado proprietário.

Diante de tal situação, pesquisadores de todo o mundo têm desenvolvido técnicas de marca d'água digital invisíveis. Essas técnicas podem ser desenvolvidas tanto no domínio do espaço, como no domínio da frequência (SHAIKH; DESHMUKH, 2013; GIRI; PEER; NAGABHUSHAN, 2014; NARGUNDKAR, 2016; SINGH, 2017).

Mesmo com tantos esforços em desenvolver técnicas para segurança de dados digitais, encontrar um sistema realmente seguro para os dados tem sido uma tarefa árdua. Logo, a motivação para este trabalho foi contribuir para a segurança dos dados digitais.

Com base na motivação citada, foram realizados estudos de diversas técnicas de marca d'água digital. Estes estudos possibilitaram perceber que muitas técnicas de marca d'água digital robustas ainda podem ter sua eficiência melhorada. Nestas técnicas, uma marca d'água deve permanecer em uma imagem marcada, mesmo após sofrer algum tipo de ataque (SU; CHEN, 2018; QASIM; MEZIANE; ASPIN, 2018). Por este motivo, o trabalho tem como objetivos principais, utilizar uma forma de decomposição de imagens para aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital e utilizá-la para propor uma nova técnica de marca d'água digital robusta. Consequentemente, também são objetivos do trabalho, fazer uma introdução sobre o tema marca d'água digital e apresentar um referencial bibliográfico sobre as técnicas de marca d'água desenvolvidas ao longo dos anos.

Visando alcançar os objetivos principais, duas medidas foram tomadas, são elas:

- Desenvolveu-se um método para aumentar a robustez das técnicas de marca d'água

digitais. Esse método, denominado Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens (MARDI), se resume a incorporar uma técnica de decomposição de imagens a técnicas de marca d'água digital. A característica principal do método é proporcionar uma seleção mais apropriada de onde a marca d'água será inserida na imagem original;

- Desenvolveu-se uma nova técnica de marca d'água digital robusta utilizando a transformada discreta de *wavelets* (DWT - *Discrete Wavelet Transform*), MARDI e a transformada discreta do cosseno (DCT - *Discrete Cosine Transform*), essa técnica foi denominada MARDI-DWT-DCT.

Com o método MARDI e a técnica MARDI-DWT-DCT desenvolvidas, obteve-se os resultados esperados com este trabalho, sendo possível apresentar uma maneira de aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digitais existentes e apresentar uma nova técnica de marca d'água digital robusta.

Todos os métodos e técnicas desenvolvidos neste trabalho, foram feitos utilizando o software Matlab versão R2015a e um computador com processador Core I7 com 2,1Ghz, 4Gb de memória RAM e sistema operacional Windows 10.

Os detalhes sobre o método MARDI, sobre a técnica MARDI-DWT-DCT e os conceitos de marca d'água digital, são apresentados nos próximos capítulos, estruturados da seguinte maneira. No Capítulo 1, foi apresentada uma introdução deste trabalho, assim como seu objetivo. No Capítulo 2, é abordado com detalhes o tema marca d'água digital. Técnicas de marca d'água digital são descritas no Capítulo 3. Uma técnica de decomposição de imagens e a forma de aplicar essa decomposição nas técnicas de marca d'água digital é proposta no Capítulo 4. No Capítulo 5, são apresentados os testes e resultados da aplicação da decomposição de imagens em algumas técnicas de marca d'água digital. Uma nova técnica de marca d'água digital robusta, denominada MARDI-DWT-DCT, que utiliza a transformada discreta de *wavelets*, a decomposição de imagens e a transformada discreta do cosseno está relatada no Capítulo 6. Por fim, no Capítulo 7 a conclusão do trabalho é descrita.

## 2 MARCA D'ÁGUA DIGITAL: INTRODUÇÃO

Marca d'água digital é a técnica que consiste em inserir uma mensagem em um dado digital, alterando-o, mas de maneira imperceptível aos olhos humanos (ANDALIBI; CHANDLER, 2015; BAJRACHARYA; KOJU, 2017; SINGH, 2017). Em outras palavras, o dado marcado, que recebeu a mensagem (marca) é perceptivelmente igual ao dado original. A mensagem inserida pode ser uma informação sobre o proprietário/distribuidor/usuário do dado digital, ou uma sequência aleatória, ou uma mensagem secreta (KUSHWAH; TIWARI; GAUTAM, 2016), ou seja, a mensagem inserida deve ser uma informação que permita o rastreamento e a identificação do dado original.

Algumas operações intencionais ou acidentais (denominadas ataques), realizadas sobre os dados digitais podem corromper a marca d'água (JAIN et al., 2015). Ciente de tal fato, as técnicas de marca d'água digital devem ser desenvolvidas de acordo com algumas propriedades, como: imperceptibilidade, robustez, capacidade de inserção e segurança, que devem ser analisadas de acordo com o objetivo que se almeja do sistema desenvolvido. Estas propriedades e alguns conceitos e princípios sobre marca d'água digital são descritos a seguir.

### 2.1 PRINCÍPIOS E CONCEITOS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL

Devido ao grande crescimento da produção, utilização e manipulação de dados digitais nas últimas décadas, medidas de segurança a esses dados se tornaram imprescindíveis. Assim como as cópias perfeitas, uma série de ameaças aos dados digitais também surgiram.

Visando garantir segurança aos dados digitais, técnicas de criptografia começaram a ser utilizadas. Entretanto, a criptografia protege o conteúdo apenas durante a transmissão dos dados do remetente para o receptor. Após o recebimento e subsequente descryptografia, os dados não estão mais protegidos e ficarão novamente sujeitos a fraudes (LOPES; SILVA, 2016).

Para complementar as técnicas de criptografia, surgiram técnicas de marca d'água



digital, que baseadas na esteganografia, arte da escrita escondida (SINGH, 2017), inserem informação, de forma imperceptível ao olho humano, sobre um dado digital. Essa informação pode ser retirada do dado digital a qualquer momento, para que seja possível fazer alguma asserção sobre o dado original (NARGUNDKAR, 2016; LOPES; SILVA, 2016).

As técnicas de marca d'água digital podem ser divididas em quatro categorias de acordo com o tipo de documento a ser marcado, podendo ser aplicadas em texto, áudio, imagem ou vídeo. (BERGHEL, 1997; CHERIAN; MERREENA; THOMAS, 2016; SINGH, 2017).

O foco deste trabalho são as técnicas de marca d'água aplicadas a imagens digitais, que ainda podem ser classificadas em outras três categorias, marca d'água digital visível, marca d'água digital invisível frágil e marca d'água digital invisível robusta (NARGUNDKAR, 2016; SHETH; NATH, 2016).

As técnicas de marca d'água digital visíveis, praticamente não oferecem proteção às imagens em que são inseridas. Isso pelo fato das marcas serem inseridas, geralmente, apenas como uma adição de um logotipo em determinado local da imagem. Esse logotipo (marca) pode ser facilmente removido ou alterado por operações de processamento digital de imagens (ataques). Por este motivo, essas técnicas são utilizadas como sinal de advertência, informando que a imagem em questão é de um determinado proprietário (PATHAK; TIWARI; AGRAWAL, 2016).

Na Figura 2, é possível visualizar um exemplo de imagem que foi marcada com técnica de marca d'água digital visível. Na Figura 2(a), visualiza-se uma imagem marcada como o logotipo da Universidade Estadual Paulista - UNESP no canto superior esquerdo, enquanto, na Figura 2(b) é possível visualizar a mesma imagem após sofrer um ataque (operação de processamento digital de imagem) que removeu a marca d'água, fazendo com que a imagem adulterada pudesse ser usada sem nenhuma proteção.

Nas técnicas de marca d'água digital invisíveis, algumas propriedades devem ser analisadas. A própria marca d'água a ser inserida deve ser definida de acordo com o tipo de marca d'água que se almeja obter, marca d'água frágil ou marca d'água robusta.

Idealmente, uma técnica de marca d'água digital invisível deve satisfazer as seguintes propriedades: imperceptibilidade, segurança, robustez e capacidade de inserção (JABADE; GENGAJE, 2011; ARAGHI et al., 2016).

Obter todas estas características é muito difícil na prática. A maioria dos algoritmos

**Figura 2** – Exemplo de marca d’água visível.



(a) Imagem Marcada.



(b) Imagem Atacada.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

de marca d’água concentra-se apenas em alguns destes requisitos, e portanto são aplicáveis numa gama restrita de circunstâncias.

Outra dificuldade reside no fato que os requisitos acima podem ser contraditórios, no sentido de que algumas operações em imagens são ora exigidas, ora proibidas. Por exemplo, no caso de uma disputa judicial, onde o proprietário de uma imagem digital requer direitos de autoria ou propriedade legal da mesma. Se esta imagem for marcada, pode-se extrair a marca d’água e verificar o seu autor ou proprietário. Neste caso, espera-se que a marca d’água não seja estragada por operações de processamento digital de imagens (ataques) como, recorte, compressão JPEG, filtragem, entre outras.

Por outro lado, num cenário onde é necessário determinar a integridade de uma imagem, espera-se que ao extrair a marca d’água da imagem marcada, esta esteja estragada nos locais onde foram feitas manipulações.

Esses são exemplos que fazem com que as propriedades desejáveis nos sistemas de marca d’água, as vezes sejam contraditórias. Pois, existem casos em que a marca não deve ser deteriorada, é o caso de sistemas de marca d’água invisíveis robustos, e outros em que a deterioração da marca deve acontecer, neste caso, sistemas de marca d’água invisíveis frágeis.

Nas próximas seções as propriedades das técnicas de marca d’água digital invisível, assim como, métodos gerais de inserção e extração de marca d’água invisível e suas

aplicações são descritas.

## 2.2 PROPRIEDADES DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL

Para o desenvolvimento de qualquer sistema de marca d'água digital invisível, algumas propriedades devem ser conhecidas, pois são de suma importância para a sua eficiência. Entretanto, existe uma relatividade entre a importância dessas propriedades, de acordo com a aplicação que se almeja (ARAGHI et al., 2016).

- **Imperceptibilidade:** Uma imagem marcada  $HW$  deve ser visualmente idêntica a uma imagem original  $H$ . Isto é, o usuário não deve perceber que uma marca d'água  $W$  foi inserida na imagem (JOSHI; PATRIKAR; MISHRA, 2012; SU; CHEN, 2018). Para que isso seja possível, deve-se explorar as limitações do sistema visual humano (HVS - *Human Visual System*) (JABADE; GENGAJE, 2011);
- **Segurança:** Uma técnica de marca d'água só é considerada segura, se apenas pessoas autorizadas conseguirem recuperar/extrair a marca d'água  $W$  (QASIM; MEZIANE; ASPIN, 2018). Para aumentar a segurança dos sistemas de marca d'água, técnicas de criptografia podem ser utilizadas, criando uma chave para a inserção e extração da marca d'água (SU; CHEN, 2018). Essa chave pode ser, por exemplo, uma permutação dos píxeis da marca d'água;
- **Robustez:** É a capacidade de uma marca d'água  $W$  permanecer em uma imagem marcada  $HW$ , mesmo após sofrer algum tipo de ataque (SU; CHEN, 2018; QASIM; MEZIANE; ASPIN, 2018). Nos sistemas de marca d'água robusta, espera-se alta robustez, enquanto que nos sistemas de marca d'água frágil o ideal é a menor robustez possível. Cox, *et al.* (1997) afirma que a robustez só é alcançada se a inserção da marca for realizada nos componentes mais significativos de uma imagem. Porém alterações nesses componentes são mais fáceis de serem percebidas pelo sistema visual humano, o que gera um conflito, imperceptibilidade versus robustez. Para resolver tal problema, o autor sugere utilizar um fator escalar sobre a marca, inserindo apenas uma proporção da marca d'água  $W$  em cada componente mais significativo da imagem original  $H$ ;
- **Capacidade de Inserção:** Refere-se à capacidade máxima de informação que pode ser inserida como marca d'água  $W$  em uma imagem, sem degradar sua qualidade visual (JOSHI; PATRIKAR; MISHRA, 2012; QASIM; MEZIANE; ASPIN, 2018). Como cada técnica de marca d'água tem suas características específicas, determinar

um tamanho máximo de informação a ser inserido é uma tarefa com alto grau de dificuldade. Porém, na maioria dos sistemas de marca d'água robustos, o tamanho que geralmente é utilizado para a marca d'água  $W$  é de  $\frac{1}{16}$  do tamanho da imagem original  $H$ , o que proporciona boa qualidade visual e robustez. Já, nos sistemas de marca d'água frágil, o tamanho da marca  $W$  utilizado costuma ser o mesmo da imagem original  $H$ . Algumas pesquisas têm sido realizadas visando aumentar o tamanho da marca d'água  $W$  a ser inserida, sem perder robustez e qualidade visual (LOPES et al., 2006a; AGGARWAL et al., 2010; TODMAL; PATIL, 2016).

### 2.3 INSERÇÃO E EXTRAÇÃO DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL

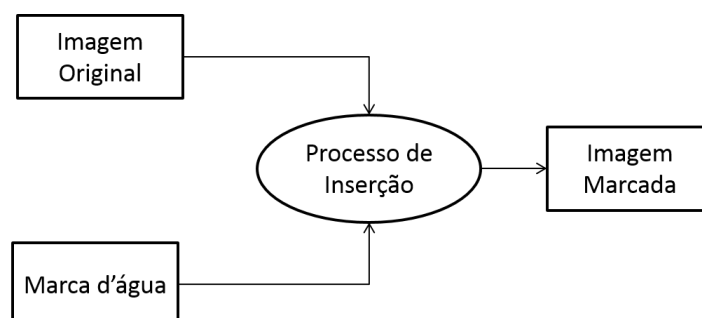
As técnicas de marca d'água são vistas como um processo de combinação de duas informações digitais (áudio, texto, imagem ou vídeo) (CHERIAN; MEREENA; THOMAS, 2016). Como neste trabalho imagens são abordadas, para gerar uma imagem marcada, representada por  $HW$ , é necessário uma imagem original, representada por  $H$ , e a outra informação, que é uma marca d'água, representada por  $W$ .

A combinação de  $H$  e  $W$ , gera uma imagem marcada  $HW$ . Nestas técnicas, a imagem marcada  $HW$  deve ser visualmente idêntica à imagem original  $H$ , ou seja,  $W$ , só pode ser detectada utilizando-se um sistema de extração de marcas d'água.

É possível fazer a inserção da marca  $W$  de forma invisível ao olho humano, pois nem todas as mudanças nos níveis de intensidade de cor são percebidas pelo sistema visual humano.

Na Figura 3, é possível visualizar um fluxograma geral de um sistema de inserção de marca d'água digital invisível. Note que para gerar a imagem marcada  $HW$ , é necessário apenas a imagem original  $H$  e a marca d'água  $W$ .

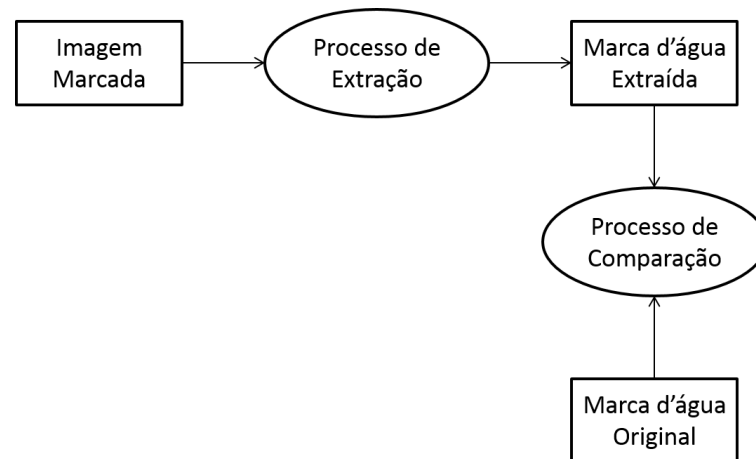
**Figura 3** – Fluxograma geral de um sistema de inserção de marca d'água digital invisível.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Um fluxograma geral de um sistema de extração de marca d'água digital invisível pode ser visualizado na Figura 4. Neste caso, para obter a marca d'água extraída  $WEX$ , é necessário apenas a imagem marcada  $HW$ . A marca d'água original  $W$ , é usada apenas para fins de comparação com a marca d'água extraída, ou seja, para se obter a similaridade entre as marcas.

**Figura 4** – Fluxograma geral de um sistema de extração de marca d'água digital invisível.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 2.4 APLICAÇÕES DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL INVISÍVEL

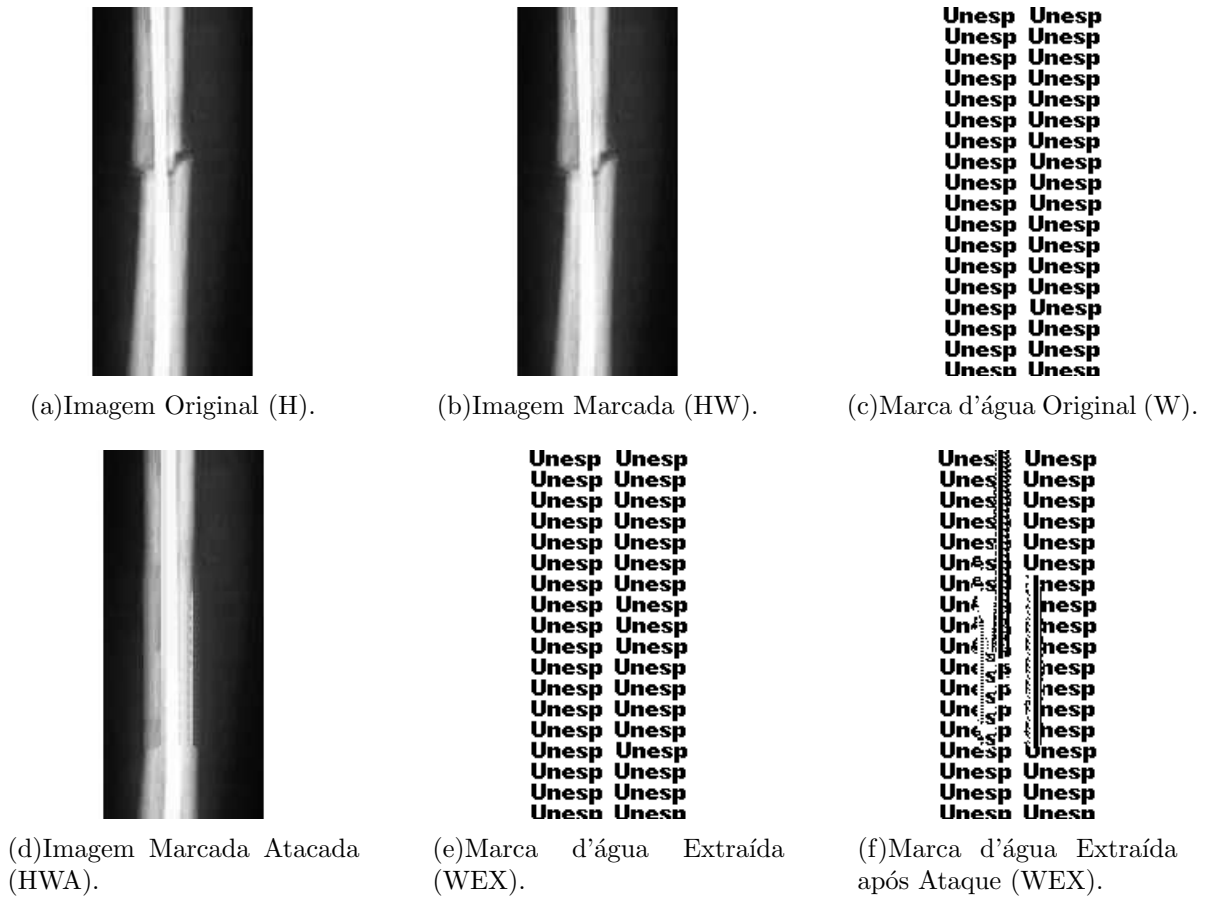
A grande motivação para o desenvolvimento das técnicas de marca d'água digital, é a proteção de direitos autorais e a verificação de autenticidade (ARAGHI et al., 2016; BAJRACHARYA; KOJU, 2017). Entretanto, com a grande quantidade de dados digitais sendo produzidos diariamente e a evolução dos sistemas de tecnologia da informação, algumas outras possibilidades de uso de marca d'água também surgiram, como o controle de cópia e a comunicação escondida (JABADE; GENGAJE, 2011; JOSHI; PATRIKAR; MISHRA, 2012; SINGH; DEVI; SINGH, 2013; BAJRACHARYA; KOJU, 2017).

### 2.4.1 Verificação de Autenticidade

Em muitos casos, a verificação de autenticidade de uma imagem digital é de suma importância e as técnicas de marca d'água podem ser utilizadas para esse fim. Basta inserir uma marca d'água  $W$  em uma imagem digital  $H$ . Ao extrair a marca d'água  $W$ , em momento posterior, caso a marca extraída  $WEX$  não seja idêntica à marca original  $W$ , conclui-se que a imagem foi alterada.

Na Figura 5, pode-se ver um exemplo de imagens médicas marcadas para a verificação de autenticidade de autenticidade.

**Figura 5** – Exemplo de imagem marcada para a verificação de autenticidade.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na imagem apresentada na Figura 5(a), visualiza-se uma imagem original  $H$ . Na Figura 5(b), visualiza-se a imagem marcada  $HW$  com a marca d'água  $W$  que pode ser visualizada na Figura 5(c). Na Figura 5(d), pode ser visualizada a imagem marcada e atacada  $HWA$ . Neste exemplo, o ataque teve a intenção de esconder uma fratura no osso. A marca d'água extraída,  $WEX$ , da Figura 5(b), pode ser visualizada na Figura 5(e). Note que as imagens apresentadas nas Figuras 5(c), marca d'água original  $W$  e 5(e), marca d'água extraída  $WEX$ , são idênticas. Logo, pode-se concluir que a imagem marcada  $HW$  apresentada na Figura 5(b), não passou por ataque algum. Na Figura 5(f) é apresentada a marca d'água extraída,  $WEX$ , da imagem apresentada na Figura 5(d). Neste caso é possível verificar que houve alteração na imagem marcada  $HW$ , pois, a marca d'água extraída  $WEX$  está alterada, mostrando que a imagem marcada  $HW$  apresentada na Figura 5(d) não era íntegra, ou seja, passou por alguma operação de processamento digital de imagens.

Para utilizar o sistema de marca d'água com a finalidade de verificação de autenticidade, é necessário que a técnica de marca d'água digital desenvolvida seja frágil, isto é, que alterações na imagem marcada deteriorem a marca d'água extraída.

#### 2.4.2 Proteção de direitos autorais

Técnicas de marca d'água digital podem ser utilizadas com a finalidade de proteção de direitos autorais. Para ilustrar esse tipo de utilização, descreve-se o seguinte cenário:

Duas empresas denominadas A e B, estão em uma disputa judicial para decidir quem é o verdadeiro proprietário de uma imagem digital, pois, ambas publicaram fotos idênticas.

A empresa A, acusa a empresa B, de ter copiado e publicado a imagem sem autorização. A empresa B, diz que não copiou a imagem e que é a proprietária da imagem. Sem provas, um juiz não teria como definir quem é o verdadeiro proprietário da mídia.

É neste sentido que as técnicas de marca d'água digital podem ajudar. O verdadeiro proprietário/autor da imagem pode inserir, por exemplo, o logotipo de sua empresa na imagem original  $H$  e, em uma situação como a descrita, pode extrair a marca d'água  $W$  para ajudar a provar que é o proprietário da imagem em questão.

Na Figura 6, é possível visualizar imagens que ilustram o cenário citado. A imagem apresentada na Figura 6(a) é uma imagem original  $H$ , na Figura 6(b), é apresentada a imagem marcada com a marca d'água original  $W$ , e esta pode ser visualizada na Figura 6(d).

Na Figura 6(c), pode-se visualizar a imagem marcada e atacada  $HWA$ . No caso, a imagem recebeu a adição de um logotipo, (inserido no canto inferior direito da imagem) e também passou por compressão JPEG de 70%.

Na Figura 6(e), é apresentada a marca d'água extraída  $WEX$  da imagem apresentada na Figura 6(b). Nota-se que as marcas d'água original  $W$  e extraída  $WEX$ , são idênticas, pois a imagem marcada  $HW$  não passou por nenhum ataque.

Na Figura 6(f), pode-se visualizar a marca d'água extraída  $WEX$  da imagem atacada  $HWA$ . Note que a marca d'água sofreu deterioração. Mesmo assim, ainda é possível identificar a marca inserida. Essa é uma característica de robustez do sistema de marca d'água, ou seja, mesmo que a imagem marcada  $HW$  passe por manipulações, a marca d'água extraída  $WEX$  tem similaridade para com a marca d'água original  $W$ .

**Figura 6** – Exemplo de imagem marcada para a proteção de direitos autorais.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 2.4.3 Controle de cópia

Para usar uma técnica de marca d'água digital para controlar cópias, basta inserir uma marca d'água,  $W$ , diferente em cada arquivo que for vendido ou distribuído.

Imagine o caso em que um sistema operacional proprietário é vendido em DVDs. Uma marca d'água  $W$ , por exemplo um número de série, poderia ser inserido em um determinado arquivo do DVD. Ao encontrar uma cópia não autorizada do sistema operacional, a empresa proprietária, poderia extrair a marca d'água  $WEX$ , e seria possível, pelo número de série, descobrir de onde se originou a cópia ilegal.

### 2.4.4 Comunicação escondida

Comunicação escondida é o princípio da esteganografia. Porém, como em um sistema de marca d'água digital, uma mensagem pode ser inserida dentro de uma imagem original  $H$ . Esta aplicação pode ser desenvolvida e mensagens podem ser enviadas escondidas em imagens.

Na Figura 7, é possível visualizar um exemplo de comunicação feita de forma escondida. Na Figura 7(a) é apresentada uma imagem que contém uma mensagem, esta imagem é inserida como marca d'água  $W$ , na imagem apresentada na Figura 7(b). A



operação produziu a imagem que pode ser visualizada na Figura 7(c), que é a imagem marcada *HW*. Esta mensagem pode ser recuperada a qualquer momento por uma pessoa de posse do sistema para extrair a marca. O resultado desta extração pode ser visualizado na Figura 7(d), que é a marca d'água extraída *WEX*.

**Figura 7** – Exemplo de imagem marcada para a comunicação escondida.

**Durante a Copa os protestos  
acontecerão na  
Avenida Paulista**

**No horário dos jogos  
do Brasil**

(a) Mensagem Original.



(b) Imagem Original.



(c) Imagem Marcada.

**Durante a Copa os protestos  
acontecerão na  
Avenida Paulista**

**No horário dos jogos  
do Brasil**

(d) Mensagem Extraída.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Em qualquer aplicação das técnicas de marca d'água digital, os dados marcados, aqui tratados como imagens, poderão sofrer ataques, que são considerados como qualquer operação de processamento digital de imagens e serão descritos na próxima seção.

## 2.5 TIPOS DE ATAQUES A IMAGENS DIGITAIS

Em sistemas de marca d'água digital aplicados a imagens, é considerado ataque qualquer manipulação na imagem marcada que, de alguma forma, altere seu conteúdo, ou seja, operações de processamento digital de imagens. Essas operações podem não ter a intenção de remover ou destruir a marca d'água. Porém, qualquer operação de processamento digital de imagens é considerada um ataque, pois alteram os valores de

intensidade dos píxeis ou a dimensão da imagem, podendo impossibilitar que a marca d'água extraída seja igual ou semelhante à marca d'água original. Desta forma, os ataques podem ser classificados em ataques acidentais e ataques intencionais (JABADE; GENGAJE, 2011; SINGH; DEVI; SINGH, 2013).

- **Ataques Acidentais:** São definidos como operações realizadas sobre a imagem marcada  $HW$ , sem a intenção de remover ou destruir a marca d'água  $W$ . Por exemplo, alterações na imagem marcada  $HW$  ocorridas no momento de sua distribuição, como: compressão com perda, impressão e digitalização, erro devido a perda de pacotes no momento da transmissão, operações para melhorar a qualidade visual da imagem (equalização de histograma e filtragens);
- **Ataques Intencionais:** São definidos como operações realizadas sobre a imagem marcada  $HW$  com intenção de remover ou destruir a marca d'água  $W$ . A intenção desses ataques é fazer com que a comparação entre marca d'água extraída  $WEX$  e marca d'água original  $W$ , não seja igual ou similar, não permitindo então, por exemplo, uma prova de propriedade. Dentre as operações que visam remover as marcas d'água, tem-se as transformações geométricas (escala, translação, rotação, recorte, transformações geométricas locais), a adição de ruído, a força bruta (encontrar a marca d'água  $W$  e a remover por tentativa e erro).

Como qualquer operação realizada sobre uma imagem marcada é considerada um ataque, pois pode alterar a marca d'água, desenvolver um sistema de marca d'água digital robusto a todas as operações de processamento de imagens ainda é um grande desafio. O que os pesquisadores têm feito é desenvolver marcas d'água robustas a certos tipos de ataques, de acordo com o foco da imagem que se pretende proteger.

Para cada aplicação em que se pretende utilizar um sistema de marca d'água digital para prover alguma segurança, existem diversas técnicas que podem ser empregadas. Algumas delas são descritas no Capítulo 3, não com o intuito de apresentar as técnicas mais eficientes, e sim apresentar os métodos precursores e adaptações dessas técnicas, que surgiram ao longo dos anos.

### 3 SISTEMAS DE MARCA D'ÁGUA DIGITAL

Para desenvolver sistemas de marca d'água digital, a primeira tarefa é a definição do método de inserção. Esta é uma etapa crucial, pois as propriedades e características que se deseja alcançar com o sistema dependem muito da forma como a marca d'água é inserida dentro dos dados. Para definir o método de inserção, deve-se considerar, onde inserir e o que inserir como marca d'água. Neste capítulo, além das considerações sobre local de inserção e dados a serem inseridos, também serão descritas algumas técnicas de marca d'água digital.

#### 3.1 ONDE INSERIR A MARCA D'ÁGUA

As primeiras técnicas de marca d'água digital aplicadas a imagens começaram a ser desenvolvidas no domínio do espaço, por modificações de LSB (*Least Significant Bit - Bit Menos Significativo*) (BALCI, 2003).

Essas técnicas possibilitam a inserção da marca d'água  $W$  de forma imperceptível, sem alterar a qualidade visual da imagem original  $H$ . A capacidade de inserção dessas técnicas é alta, sendo possível inserir uma marca d'água  $W$  do mesmo tamanho da imagem original  $H$ , e a complexidade dos métodos é baixa. Entretanto, essas técnicas são muito sensíveis a operações de processamento de imagens (ataques).

Sendo assim, novas técnicas começaram a ser propostas e o domínio das transformadas passou a ser amplamente utilizado, principalmente a transformada discreta do cosseno (DCT - *Discrete Cosine Transform*), a transformada discreta de *Fourier* (DFT - *Discrete Fourier Transform*) e a transformada discreta de *wavelets* (DWT - *Discrete Wavelets Transform*) (KUSHWAH; TIWARI; GAUTAM, 2016; CHERIAN; MEREENA; THOMAS, 2016; ARAGHI et al., 2016).

Nas técnicas que utilizam transformadas, a inserção da marca d'água  $W$  na imagem original  $H$  é realizada por modificações dos coeficientes de transformação. Tais operações, possibilitam maior robustez às técnicas de marca d'água, porém a complexidade de

desenvolvimento do método tende a aumentar, pois alguns quesitos devem ser analisados, como a quantidade de informação a ser inserida e quais componentes serão utilizados para inserção.

A inserção da marca d'água, pode ser realizada nos componentes de alta frequência, que podem proporcionar maior robustez contra ataques, porém, deterioram mais a qualidade visual da imagem marcada. Os componentes de baixa frequência possibilitam boa imperceptibilidade, porém, não garantem boa robustez (NARGUNDKAR, 2016).

Robustez e imperceptibilidade estão entre os principais desafios e preocupações dos estudiosos das técnicas de marca d'água digital. A definição de um domínio (espaço ou frequência) onde a marca d'água será inserida é uma tarefa a ser realizada. Entretanto, não é a única. Definir o que inserir dentro da imagem original  $H$  também é uma tarefa para se desenvolver uma técnica de marca d'água digital.

### 3.2 O QUE INSERIR COMO MARCA D'ÁGUA

Na maioria dos sistemas propostos, a marca d'água  $W$  consiste numa sequência pseudo-aleatória de amostras independentes e de distribuição idêntica (BALCI, 2003). Nesses sistemas, ao extrair a marca d'água  $WEX$  de uma imagem marcada  $HW$ , esta deve ser passada por um teste de similaridade. Esse teste verifica se a sequência extraída  $WEX$  corresponde à sequência originalmente inserida  $W$ .

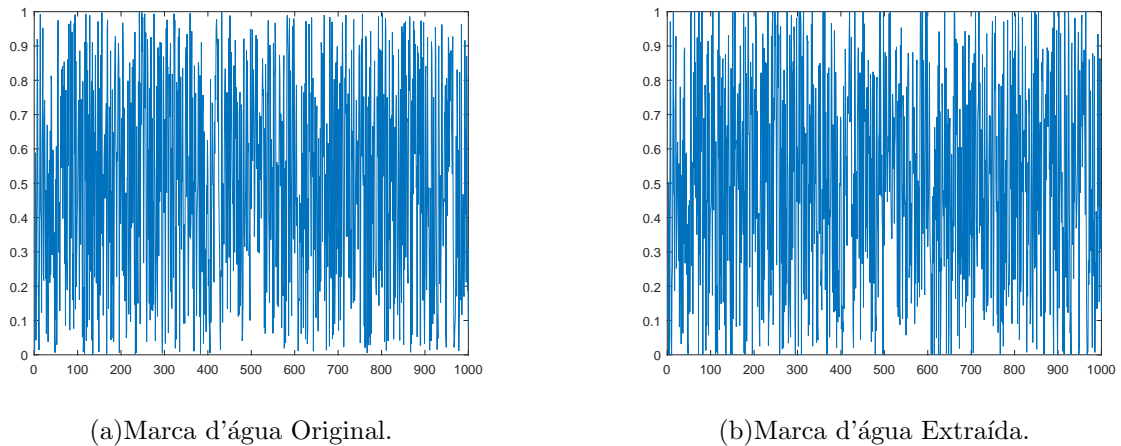
Um dos problemas de inserir uma sequência pseudo-aleatória como marca d'água  $W$ , é que ao fazer a extração de uma imagem que passou por um ataque, a marca d'água extraída  $WEX$  pode ter alguns *bits* alterados. Determinar um percentual de *bits* que poderiam ser alterados para que as marcas d'água original  $W$  e extraída  $WEX$  possam ser consideradas iguais é uma tarefa muito subjetiva.

Para possibilitar uma identificação mais precisa da marca d'água extraída  $WEX$  após ataques na imagem marcada  $HW$ , algumas técnicas de marca d'água começaram a inserir uma outra imagem, como um logotipo, na imagem original  $H$ . Assim, não é necessário ter 100% dos *bits* extraídos idênticos aos da marca d'água original  $W$ , neste caso, se torna possível, visualmente, detectar que duas imagens se correspondem.

Na Figura 8 é possível visualizar duas sequências aleatórias. A imagem apresentada na Figura 8(a) é uma sequência que foi utilizada como marca d'água, já a imagem apresentada na Figura 8(b) é a marca d'água extraída após sofrer um ataque, as duas marcas são similares, entretanto é difícil afirmar visualmente que uma corresponde à outra. Fato que

é mais fácil de comprovar quando se utiliza imagens como marca d'água, este exemplo é apresentado na Figura 9, onde pode-se visualizar uma imagem logotipo utilizada como marca d'água na Figura 9(a) e a marca d'água extraída após ataque na Figura 9(b). Neste caso, mesmo visualmente é possível concluir que as marcas se correspondem.

**Figura 8** – Exemplo de sequência aleatória utilizada como marca d'água.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 9** – Exemplo de imagem utilizada como marca d'água.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nas Seções 3.3 e 3.4 algumas técnicas de marca d'água digital no domínio do espaço e no domínio da frequência, respectivamente, são descritas.

### 3.3 TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA NO DOMÍNIO DO ESPAÇO

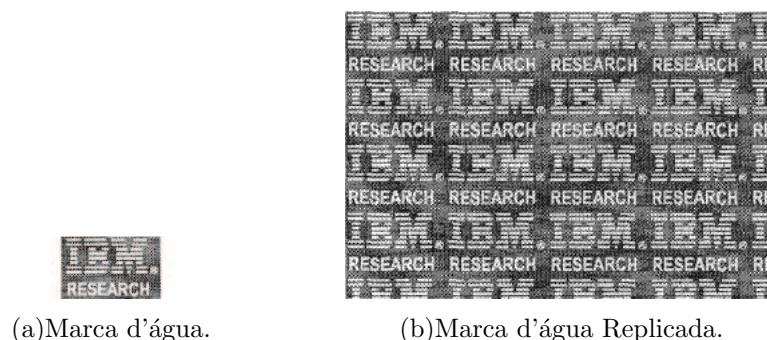
Uma das primeiras técnicas de marca d'água digital aplicada a imagens foi proposta por Van Schyndel, Tirkel e Osborne (1994). A ideia consiste em inserir uma sequência binária em uma imagem original  $H$ . A inserção é realizada por meio da substituição dos *bits* menos significativos (LSB - *Least Significant Bit*) da imagem original. O problema desta técnica é que se uma pessoa, com ou sem a intenção de remover a marca  $W$ , eliminar ou alterar os LSB da imagem marcada  $HW$ , por exemplo, fazendo uma equalização, uma filtragem ou compressão da imagem, a marca d'água será removida.

Diante da fragilidade do sistema proposto por Van Schyndel, Tirkel e Osborne (1994), Macq e Quisquater (1995) propuseram uma técnica na qual a inserção da marca d'água  $W$  é realizada sobre os píxeis de borda (contorno) de uma imagem original  $H$ . A inserção é feita nas bordas, visto que esses píxeis são os menos afetados por operações de processamento digital de imagem, como filtragem passa-baixa, compressão JPEG, e adição de ruído. Entretanto, como a inserção da marca  $W$  é realizada no domínio do espaço, fazendo alterações diretamente nos valores de intensidade de cada píxel, a robustez do método não é muito alta.

Como o domínio do espaço não proporcionava muita robustez para as técnicas de marca d'água digital, técnicas desenvolvidas com a inserção sendo feita diretamente sobre os valores de píxeis da imagem original passaram a ser desenvolvidas principalmente para sistemas de marca d'água digital frágil, que têm o intuito de possibilitar a verificação de autenticidade da imagem (YEUNG; MINTZER, 1997; SHETH; NATH, 2016). Sistemas para a verificação de autenticidade, têm como principal característica, não serem robustos a ataques.

Visando a verificação de autenticidade, Yeung e Mintzer (1997) propuseram uma técnica de marca d'água digital frágil realizada no domínio do espaço. A inserção da marca d'água  $W$  é realizada em todos os píxeis da imagem original  $H$ . Logo, a marca d'água  $W$  deve ter a mesma dimensão da imagem original  $H$ . Caso seja menor, deverá ser replicada ou redimensionada até atingir o tamanho desejado. Um exemplo de marca d'água replicada, pode ser visualizado na Figura 10, onde na Figura 10(a) visualiza-se a marca d'água e na Figura 10(b) a marca d'água replicada.

**Figura 10** – Exemplo de marca d'água replicada.



**Fonte:** (YEUNG; MINTZER, 1997).

A inserção da marca d'água  $W$  é feita pela alteração dos LSB de cada píxel da imagem original  $H$ , para isso, utiliza-se como marca d'água  $W$ , uma imagem binária.

Para aumentar a segurança do método, uma *Look-Up-Table* (LUT) é utilizada como

chave privada. Dessa maneira, a inserção e a detecção da marca d'água  $W$  devem ser feitas utilizando-se a mesma chave.

Como a inserção da marca  $W$  é feita píxel a píxel, se um *hacker* fizer uma adulteração de apenas um píxel na imagem marcada  $HW$ , há grandes possibilidades de visualmente essa adulteração passar despercebida. Entretanto, se a adulteração for realizada em áreas maiores da imagem marcada  $HW$ , certamente será possível concluir pela análise da marca extraída  $WEX$ , que a imagem marcada  $HW$  não é mais autêntica, além de se ter a localização exata de onde a adulteração foi realizada. Para se ter certeza de que a adulteração de um único píxel não passe despercebida, uma comparação numérica de similaridade entre a marca d'água original  $W$  e a marca d'água extraída  $WEX$  pode ser feita, identificando se a imagem sofreu ou não adulteração.

Wong (1998), apresentou uma técnica de marca d'água capaz de detectar adulterações como: alterações dos valores de píxel, redimensionamento da imagem, recorte de partes da imagem, entre outras. A segurança dessa técnica é baseada na utilização de uma chave pública e uma função criptográfica *hash* (MD5 - *Message Digest 5*)<sup>1</sup>.

No processo de inserção, a marca d'água  $W$  é adicionada em uma imagem usando uma chave privada, e no processo de extração uma chave pública correspondente à chave privada do momento de inserção deve ser usada para se extrair a marca  $WEX$ .

Os algoritmos de inserção e extração da técnica de Wong (1998) são desenvolvidos para imagens em níveis de cinza. Porém, podem ser aplicados para imagens coloridas, repetindo-se os processos em cada canal RGB (*Red*, *Green*, *Blue*) da imagem original  $H$ .

Geralmente, as técnicas de marca d'água digital desenvolvidas no domínio do espaço são destinadas para a verificação de autenticidade, marca d'água digital frágil. Entretanto, alguns trabalhos como o de Nikolaidis e Pitas (2001) e de Lopes, *et al.* (2006b) apresentam técnicas de marca d'água digital robustas, nos quais a inserção da marca d'água  $W$  é realizada no domínio do espaço.

A técnica proposta por Nikolaidis e Pitas (2001) se baseia em selecionar as regiões mais interessantes da imagem para inserir a marca d'água  $W$ . A seleção dessas regiões é feita pela segmentação da imagem original  $H$ . As áreas resultantes da segmentação, servem de máscara para inserir a marca d'água  $W$ .

Lopes, *et al.* (2006b) propuseram uma técnica de marca d'água digital robusta que também utiliza o domínio do espaço para fazer a inserção da marca d'água  $W$ . Nesta

---

<sup>1</sup>Algoritmo de *hash* de 128 *bits* unidirecional desenvolvido pela RSA Data Security, Inc.

técnica um filtro de detecção de bordas é aplicado na imagem original  $H$ . A inserção da marca d'água  $W$  é realizada apenas sobre os píxeis de borda, pois são píxeis que podem prover certa robustez contra ataques.

### 3.3.1 Principais Técnicas de Marca d'água Frágil

Como as técnicas de marca d'água digital frágil, propostas por Yeung e Mintzer (1997) e por Wong (1998) estão entre as propulsoras e principais técnicas para a verificação de autenticidade de imagens digitais, os algoritmos de inserção e extração dessas técnicas são detalhados nesta Subseção.

#### 3.3.1.1 Técnica de Yeung e Mintzer

Neste tópico são descritos os algoritmos de inserção, extração e os resultados da técnica de Yeung e Mintzer (1997).

#### **Algoritmo de inserção da técnica de Yeung e Mintzer:**

Considere  $H$  uma imagem original em níveis de cinza de tamanho  $M \times N$  píxeis. Considere  $W$  uma marca d'água, que consiste de uma imagem logotipo binária de mesma dimensão de  $H$ . A marca  $W$  será inserida na imagem original  $H$ , afim de se obter a imagem marcada  $HW$ .

Tanto o processo de inserção como o de extração da marca d'água  $W$  dependem de uma *Look-Up-Table* (LUT)  $k : \{0...255\} \rightarrow \{0,1\}$ . Uma LUT  $k$  pode ser preenchida sorteando-se 256 valores booleanos aleatórios, e cada valor da LUT representa um nível de cinza. Essa LUT  $k$  é utilizada como chave privada, e por esse motivo, deve ser mantida em segredo.

Para inserir a marca d'água na imagem original os seguintes passos devem ser seguidos:

1. Para cada píxel da imagem original  $H$ , será analisado o seu valor de intensidade na tabela de nível de cinza e o valor correspondente na LUT  $k$ ;
2. Obtém-se o píxel da marca d'água  $W$  na mesma posição do píxel analisado na imagem original  $H$ ;
3. Verifica-se o valor do píxel na marca d'água original  $W$  e compara-se com o valor obtido na LUT  $k$ ;



- 3.1. se os valores forem iguais, a imagem marcada receberá o mesmo valor de intensidade da imagem original;
- 3.2. se os valores forem diferentes, verifica-se na tabela de níveis de cinza, o valor de intensidade do vizinho à esquerda:
  - 3.2.1. se a LUT  $k$  correspondente for igual ao valor da marca d'água original, o nível de cinza é inserido na imagem marcada;
  - 3.2.2. se a LUT  $k$  correspondente for diferente, então na tabela de nível de cinza, verifica-se o valor de intensidade do vizinho à direita e o valor da LUT  $k$  correspondente;
    - 3.2.2.1. se os valores forem iguais, o nível de cinza em questão é inserido na imagem marcada;
    - 3.2.2.2. se os valores forem diferentes, volta-se ao passo 3.2 e os próximos vizinhos serão analisados.

A imagem marcada  $HW$  é obtida repetindo esse processo até que todos os píxeis da marca d'água  $W$  tenham sido inseridos.

Para esclarecer melhor o processo de inserção da marca d'água de Yeung e Mintzer (1997), é apresentado um exemplo em que foi considerado como imagem original  $H$  uma matriz de tamanho  $5 \times 5$  píxeis, com 16 níveis de cinza. Desta forma, a LUT  $k$ : é representada por  $k = \{0, \dots, 15\} \rightarrow \{0, 1\}$  e a marca d'água  $W$  é uma matriz  $5 \times 5$  píxeis de valores 0 ou 1 (binária). A LUT, a imagem original  $H$ , a imagem marcada  $HW$  e a marca d'água  $W$ , utilizadas nesse exemplo podem ser visualizadas na Figura 11.

**Figura 11** – Exemplo de inserção da técnica de Yeung e Mintzer.

<b>Níveis de Cinza</b>															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>LUT k – Chave privada</b>															
0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1

<b>Imagem Original - H</b>	<b>Marca d'água original - W</b>	<b>Imagem Marcada - HW</b>																																																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>7</td><td>1</td><td>10</td><td>11</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td><td>1</td><td>10</td><td>15</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>5</td><td>5</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>9</td><td>2</td><td>15</td><td>13</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>4</td><td>12</td><td>0</td></tr> </table>	7	1	10	11	4	2	7	1	10	15	9	8	5	5	10	10	9	2	15	13	3	5	4	12	0	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>6</td><td>0</td><td>10</td><td>11</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>6</td><td>0</td><td>10</td><td>14</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>4</td><td>5</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>7</td><td>2</td><td>15</td><td>14</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>11</td><td>1</td></tr> </table>	6	0	10	11	4	1	6	0	10	14	9	8	4	5	10	10	7	2	15	14	3	4	4	11	1
7	1	10	11	4																																																																									
2	7	1	10	15																																																																									
9	8	5	5	10																																																																									
10	9	2	15	13																																																																									
3	5	4	12	0																																																																									
1	0	1	0	1																																																																									
1	1	0	1	0																																																																									
1	1	1	0	1																																																																									
1	0	0	1	0																																																																									
0	1	1	0	1																																																																									
6	0	10	11	4																																																																									
1	6	0	10	14																																																																									
9	8	4	5	10																																																																									
10	7	2	15	14																																																																									
3	4	4	11	1																																																																									

Fonte: Elaborada pelo autor.

O passo a passo da inserção da marca d'água  $W$  no primeiro píxel da imagem original  $H$  é detalhado a seguir:

- Considere o primeiro píxel da imagem original  $H(1, 1)$ , que no exemplo  $HW(1, 1) = 7$ , logo, este possui nível de cinza 7;
- Na tabela de níveis de cinza, verifique o valor correspondente na LUT  $k$  ao nível de cinza 7,  $LUT\ k(H(1, 1)) = 0$ ;
- Na marca d'água  $W$ , verifique o valor do primeiro píxel  $W(1, 1)$ , no exemplo  $W(1, 1) = 1$ ;
- Como  $W(1, 1)$  é diferente de  $k(H(1, 1))$ , verifica-se primeiramente o valor do nível de cinza vizinho à esquerda, no exemplo, nível de cinza 6, e o valor da LUT  $k$  correspondente é 1;
- Valor da LUT  $k$ , referente ao nível de cinza 6, é igual ao valor de  $W(1, 1) = 1$ . Logo, o primeiro píxel da imagem marcada  $HW(1, 1) = 6$ .

Este processo é repetido para todos os píxeis da imagem. Quando o píxel da marca d'água é igual ao correspondente do nível de cinza na LUT  $k$ , permanece o mesmo valor do nível de cinza na imagem marcada. Quando é diferente, primeiro verifica-se o vizinho à esquerda, caso não seja igual, verifica-se o vizinho à direita.

### **Algoritmo de Extração da Técnica de Yeung e Mintzer:**

No processo de extração da marca d'água  $W$ , é necessária a imagem marcada  $HW$ , e a LUT  $k$  utilizada no processo de inserção. Com essas duas entradas, a marca d'água extraída  $WEX$  pode ser obtida calculando:  $WEX(i, j) \leftarrow k(HW(i, j))$ .

Se a marca d'água extraída  $WEX$  for igual a marca d'água original  $W$ , a imagem marcada  $HW$ , não foi adulterada. Caso contrário, no local onde as imagens forem diferentes, terá havido adulteração (YEUNG; MINTZER, 1997).

### **Resultados da Técnica de Yeung e Mintzer:**

Se nenhuma adulteração tiver sido feita na imagem marcada  $HW$ , a marca d'água  $W$  será idêntica à marca d'água extraída  $WEX$ . Um exemplo do caso pode ser visto na Figura 12, em que é apresentada uma imagem original  $H$ , uma imagem marcada  $HW$ , a marca d'água original  $W$  e a marca d'água extraída  $WEX$ .

Se a imagem marcada  $HW$  tiver sofrido algum tipo de adulteração, a marca d'água extraída  $WEX$  será diferente da marca d'água original  $W$ . Como pode ser visto no

**Figura 12** – Exemplo de imagem não adulterada, técnica de Yeung e Mintzer.



(a) Imagem Original.



(b) Imagem Marcada.



(c) Marca d'água Original.



(d) Marca d'água Extraída.

**Fonte:** (YEUNG; MINTZER, 1997).

exemplo da Figura 13, no qual são apresentadas a imagem original  $H$ , a imagem marcada  $HW$  que passou por adulteração, a marca d'água original  $W$  e a marca d'água extraída  $WEX$  da imagem marcada e adulterada  $HWA$ . A adulteração na imagem marcada  $HW$  foi realizada no texto escrito na imagem e nas janelas do prédio. Observa-se que as diferenças entre a marca d'água extraída  $WEX$  e a marca d'água original  $W$  são justamente nas mesmas posições onde aconteceram as adulterações.

### 3.3.1.2 Técnica de Wong

Neste tópico são descritos os algoritmos de inserção, extração e os resultados da técnica de Wong (1998).

#### Algoritmo de Inserção da Técnica de Wong

Considere:  $H$  uma imagem original em níveis de cinza de tamanho  $M \times N$  e  $W$  uma marca d'água binária. Para obter  $HW$ , a imagem original  $H$  é dividida em blocos de tamanho  $I \times J$  píxeis.

A marca original  $W$  não necessita ser do mesmo tamanho da imagem original  $H$ , pois uma nova imagem binária  $A$  do mesmo tamanho de  $H$  pode ser gerada. Isso pode ser feito com a replicação de  $W$  até que se atinja o tamanho desejado. Então,  $A$  é separada

**Figura 13** – Exemplo de magem que sofreu adulteração, técnica de Yeung e Mintzer.



(a) Imagem Original.



(b) Imagem Marcada Atacada.



(c) Marca d'água Original.



(d) Marca d'água Extraída após Ataque.

**Fonte:** (YEUNG; MINTZER, 1997).

em blocos de tamanho  $I \times J$  píxeis, gerando os blocos  $A_r$ . Cada bloco de  $A$  é inserido nos correspondentes blocos  $H$ , gerando a imagem marcada  $HW$ .

### Processo de Inserção

Considere que  $H_r$  representa o  $r$ -ésimo bloco da imagem original  $H$ .

Crie  $H'_r$ , que são blocos iguais a  $H_r$ , porém com seus LSBs alterados para 0.

Considere que  $R(\cdot)$  seja uma função criptográfica *hash*, computada de

$$R(M, N, H'_r) = (p_1^r, p_2^r, \dots, p_s^r), \quad (1)$$

em que  $p_i^r$  são os *bits* de saída da função *hash* e  $s$  é o número de *bits* de saída, que depende da função *hash* utilizada. Nesse algoritmo a função *hash* utilizada é a MD5 (*Message Digest 5*) em que  $s = 128$ , desse modo, é necessário selecionar um tamanho de bloco em que  $I, J \leq 128$ .

Considere que  $P_r$  sejam os primeiros  $I, J$  *bits* da sequência de *bits*. Combine  $P_r$  com um correspondente bloco  $A_r$ , usando a função XOR (ou exclusivo). Calculado por

$$FW_r = P_r \otimes A_r, \quad (2)$$

em que  $\otimes$  representa o operador XOR entre dois blocos. Codifique  $FW_r$  com um sistema de chave pública para obter

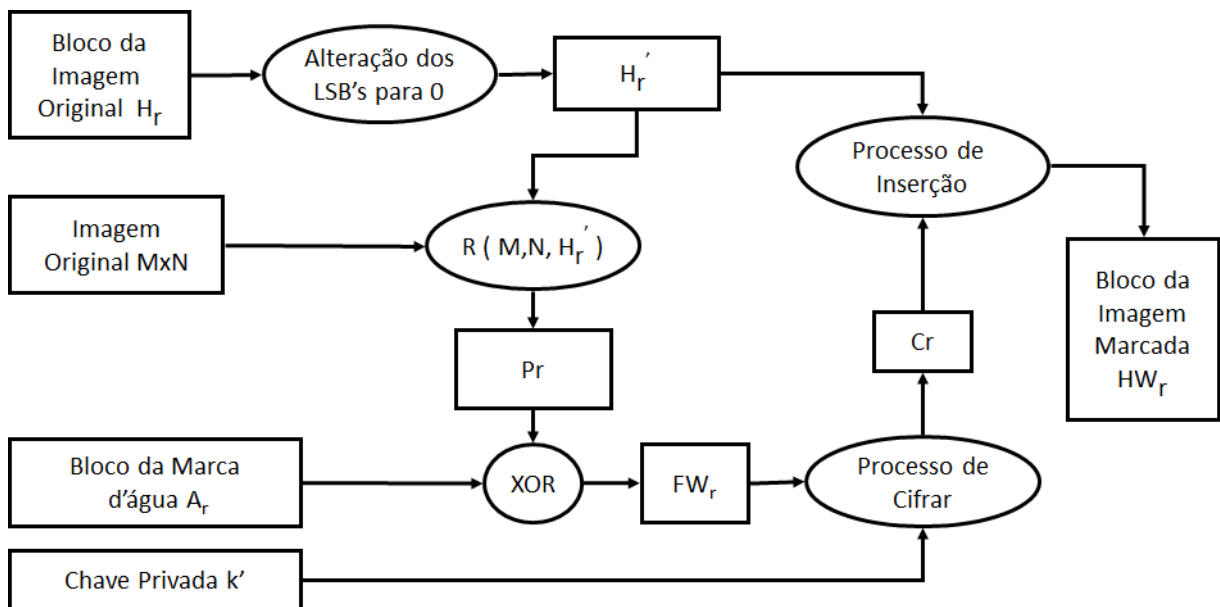
$$C_r = E_{k'}(FW_r), \quad (3)$$

em que  $E(\cdot)$  representa a função de encriptação do sistema de chave pública, e  $k'$  é a chave privada.

O bloco  $C_r$  é inserido nos LSBs dos correspondentes blocos  $H'_r$ , formando os blocos  $HW_r$  da imagem marcada  $HW$ .

Na Figura 14, é apresentado um fluxograma que ilustra o algoritmo de inserção da técnica de Wong (1998).

**Figura 14** – Fluxograma do algoritmo de inserção da técnica de Wong.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No fluxograma apresentado na Figura 14, para gerar uma imagem marcada  $HW$  alguns passos são necessários. Primeiro a imagem original é dividida em blocos não sobrepostos, denominados  $H_r$ . Os LSBs de  $H_r$  são alterados para 0, gerando  $H'_r$ . Uma função *hash* (MD5), entre um bloco  $H'_r$  e as variáveis de tamanho da imagem original é calculada, essa operação gera  $P_r$ . Um XOR é calculado entre o bloco da marca d'água  $A_r$  e  $P_r$  gerando  $FW_r$ . Uma codificação, com um sistema de chave pública, é realizada entre  $FW_r$  e uma chave privada  $k'$ , gerando  $C_r$ , que é inserido em  $H'_r$  formando um bloco marcado  $HW_r$ . Após obter todos os blocos marcados  $HW_r$ , eles são agrupados para formar a imagem marcada  $HW$ .

### Processo de Extração

No processo de extração da marca d'água, a imagem marcada  $HW$  é separada em blocos  $WW_r$ .

$WW_r$  é separada em duas partes,  $G_r$  que contém apenas os LSBs de  $WW_r$  e  $WW_r'$  que contém os valores de pixel de  $WW_r$ , exceto os LSBs que foram alterados para 0.

Uma função *hash* de  $M$ ,  $N$  e  $WW_r'$  é calculada, os primeiros 64 *bits* são denotados por  $Q_r$ .

$G_r$  é decodificado com a chave pública  $k$  correspondente a chave privada  $k'$  usada no processo de inserção, calculada por

$$U_r = D_K(WW_r). \quad (4)$$

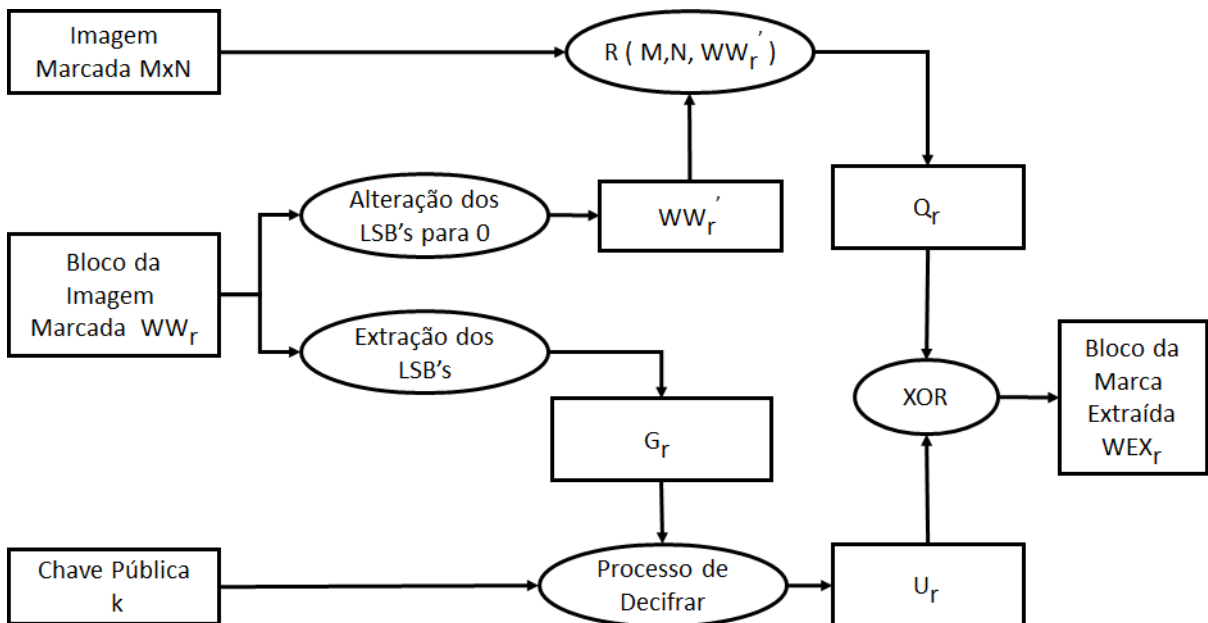
Os blocos da marca d'água extraída  $WEX$  são calculados usando o operador XOR.

$$WEX_r = Q_r \otimes U_r \quad (5)$$

Os blocos  $WEX_r$  são compostos para obter a marca d'água extraída  $WEX$ .

Na Figura 15, um fluxograma ilustrando o algoritmo de extração da técnica de Wong (1998) é apresentado.

**Figura 15** – Fluxograma do algoritmo de extração da técnica de Wong.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No fluxograma apresentado na Figura 15, para obter a marca d'água extraída  $WEX$ ,

primeiro a imagem marcada é dividida em blocos  $WW_r$ . Esses blocos são separados em  $G_r$ , que contém apenas os LSBs de  $WW_r$ , e  $WW'_r$  que é igual a  $WW_r$ , porém com seus LSBs alterados para 0. Uma função *hash* (MD5) entre o bloco  $WW'_r$  e as variáveis de tamanho da imagem marcada é calculada, gerando  $Q_r$ . O bloco  $G_r$  é decodificado com a chave pública  $k$  correspondente a chave privada  $k'$ , gerando  $U_r$ . O bloco da marca d'água extraída  $WEX$  é obtido calculando-se um XOR entre  $U_r$  e  $Q_r$ . Esse processo se repete por todos os blocos  $WW_r$ .

### Resultados da Técnica de Wong

Ao trabalhar com a técnica de Wong (1998), se nenhuma mudança tiver sido feita na imagem marcada  $HW$ , deve-se ter  $WW_r = H_r$ . Então,  $WW'_r = H'_r$ , e  $G_r = C_r$ , o que implica que  $P_r = Q_r$  e  $U_r = A_r$ . Dessa forma, os blocos da marca d'água extraída  $WEX_r$  serão idênticos aos blocos da marca d'água original  $W$  adicionados no processo de inserção. Esse é o único caso em que a marca d'água extraída  $WEX$  será idêntica à original  $W$ , ou seja, se a imagem marcada  $HW$  for idêntica à imagem original  $H$ .

Um exemplo pode ser visualizado na Figura 16. Na Figura 16(a) visualiza-se uma imagem original, na Figura 16(b) visualiza-se a imagem original marcada com a marca d'água apresentada na Figura 16(c) e a marca d'água extraída da imagem marcada pode ser observada na Figura 16(d). Como as imagens original e marcada são idênticas, as marcas d'água original e extraída também são idênticas, demonstrando que a imagem marcada não sofreu adulteração.

**Figura 16** – Exemplo de imagem autêntica, técnica de Wong.



(a)Imagem Original.



(b)Imagem Marcada.



(c)Marca d'água Original.



(d)Marca d'água Extraída.

**Fonte:** (WONG, 1998).

Se a imagem marcada  $HW$  sofrer uma operação de processamento de imagens que altere todos os seus píxeis como, por exemplo, compressão JPEG, filtragem passa-baixa,

adição de ruído, equalização de histograma ou alteração de contraste, a marca d'água extraída  $WEX$  será totalmente desfigurada, podendo-se saber que a imagem não é autêntica. Um exemplo é apresentado na Figura 17. Na Figura 17(a) visualiza-se uma imagem original, na Figura 17(b) visualiza-se esta imagem marcada com a marca d'água apresentada na Figura 17(c) e atacada por compressão JPEG. A marca d'água extraída da imagem marcada pode ser visualizada na Figura 17(d). Neste caso, as marcas d'água original e extraída são muito diferentes, a marca d'água extraída apresentada na Figura 17(d) foi totalmente desfigurada, demonstrando que a imagem marcada sofreu adulteração em todos ou praticamente em todos os seus píxeis.

**Figura 17** – Exemplo de imagem que sofreu adulteração, técnica de Wong.



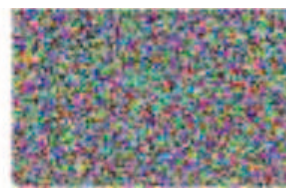
(a) Imagem Original.



(b) Imagem Marcada que Sofreu Compressão JPEG.



(c) Marca d'água Original.



(d) Marca d'água Extraída após Ataque.

**Fonte:** (WONG, 1998).

Se a imagem marcada  $HW$  sofrer uma alteração de alguns de seus valores de píxel, como por exemplo a inserção de um novo objeto na imagem, a marca d'água extraída  $WEX$  será diferente da marca original  $W$  apenas no local correspondente onde a inserção do objeto foi realizada na imagem marcada  $HW$ . Um exemplo pode ser visualizado na Figura 18. Na Figura 18(a) visualiza-se uma imagem original, na Figura 18(b) visualiza-se a imagem original marcada com a marca d'água apresentada na Figura 18(c) e atacada pela inserção de um objeto na imagem, no exemplo, um copo. A marca d'água extraída da imagem marcada pode ser visualizada na Figura 18(d). Neste exemplo, as marcas d'água original e extraída são diferentes apenas onde houve a inserção do copo na imagem marcada.

Se a imagem marcada  $HW$  sofrer uma operação de recorte ou uma operação de escala, a marca d'água extraída  $WEX$  será totalmente deteriorada, podendo-se assim notar que a imagem foi adulterada. Um exemplo é apresentado na Figura 19. Na Figura 19(a)



**Figura 18** – Exemplo de imagem que teve alguns valores de píxeis alterados, técnica de Wong.



**Fonte:** (WONG, 1998).

visualiza-se a imagem original, a marca d'água original pode ser visualizada na Figura 19(c) e na Figura 19(b) tem-se a imagem marcada e atacada por recorte. Neste caso, a marca d'água extraída foi toda deteriorada, como mostrado na Figura 19(d).

**Figura 19** – Exemplo de imagem que foi recortada, técnica de Wong.

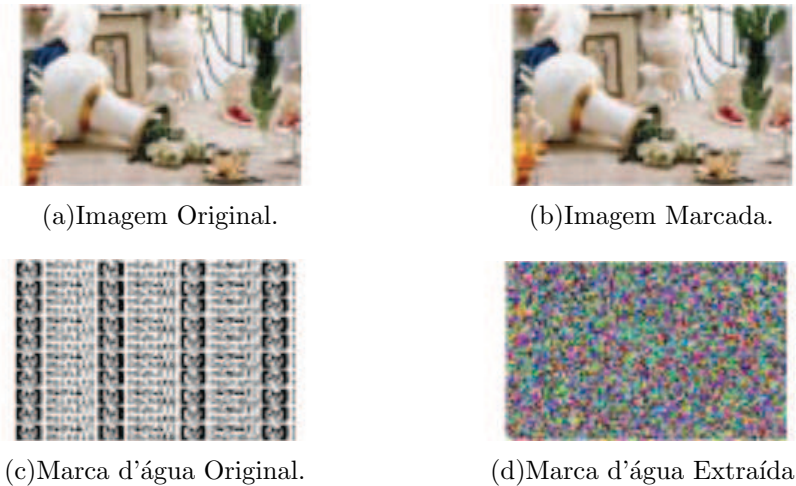


**Fonte:** (WONG, 1998).

Se uma chave incorreta for utilizada no processo de extração, a marca d'água extraída *WEX* será totalmente deteriorada, como apresentado na Figura 20. A Figura 20(a) apresenta a imagem original, a marca d'água original pode ser visualizada na Figura 20(c). Na Figura 20(b) pode se visualizar a imagem marcada. Neste exemplo, a imagem original e a imagem marcada são idênticas, porém no processo de extração da marca

d'água, uma chave incorreta foi utilizada, o que fez com que a marca d'água extraída fosse toda deteriorada, como pode ser visto na Figura 20(d).

**Figura 20** – Exemplo de imagem em que uma chave incorreta foi utilizada, técnica de Wong.



**Fonte:** (WONG, 1998).

Pelos resultados apresentados, pode-se verificar que a técnica atende ao quesito de verificação de autenticidade de imagem, já que as adulterações causadas na imagem marcada  $HW$  podem ser percebidas na marca d'água extraída  $WEX$ .

### 3.4 TÉCNICAS DE MARCA D'ÁGUA NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

Dentre as técnicas de marca d'água digital, as que visam robustez foram as que mais tiveram estudos e conseqüentemente as mais aprimoradas. Muitas das técnicas que surgiram nos últimos anos tiveram como base os trabalhos de Koch e Zhao (1994) e de Cox, *et al.* (1997).

Koch e Zhao (1994) apresentaram uma técnica de marca d'água digital robusta, onde a inserção é realizada no domínio da frequência. Nesta técnica, uma imagem original  $H$  é particionada em blocos não sobrepostos. Alguns destes blocos são selecionados aleatoriamente, e a transformada discreta do cosseno (DCT) é aplicada em cada um dos blocos selecionados. Uma seqüência constituída por 0 e 1 é adicionada aos coeficientes de média frequência, proporcionando mudanças visualmente imperceptíveis na imagem marcada  $HW$ .

Na técnica proposta por Cox, *et al.* (1997), para que a inserção da marca d'água  $W$  seja realizada, primeiro a imagem original  $H$  é levada do domínio do espaço para o domínio da frequência por meio da DCT. A marca d'água  $W$  é inserida em alguns componentes,

os mais significativos, da imagem transformada. Ao realizar a inversa da transformada discreta do cosseno (IDCT - *Inverse Discrete Cosine Transform*), é gerada a imagem marcada  $HW$ . A marca  $W$ , que havia sido inserida apenas em alguns componentes da imagem no domínio da frequência passa a ser espalhada por toda a imagem no domínio do espaço. Para obter a marca d'água extraída  $WEX$ , o processo inverso deve ser feito.

Esse é um dos principais métodos de marca d'água desenvolvido, pois proporciona boa robustez, a marca é imperceptível ao olho humano e proporciona boa segurança.

A partir de estudos e evoluções das técnicas de marca d'água robusta, não só a DCT, mas também outras formas de transformar o domínio de uma imagem, como a transformada discreta de *Fourier* (DFT), transformada discreta de *wavelets* (DWT) e transformada discreta de *Hadamard* (DHT - *Discrete Hadamard Transform*), começaram a ser utilizadas. Além das transformadas, Algoritmos Genéticos, Redes Neurais Artificiais e Lógica *Fuzzy* também passaram a fazer parte dos estudos de marca d'água digital robusta.

Uma proposta bem similar a de Cox, *et al.* (1997) foi apresentada por Zhang, Feng e Lo (2003). Ao invés de utilizar a DCT, os autores utilizaram a transformada discreta de *wavelets* (DWT) para alterar o domínio da imagem original  $H$ . A inserção da marca d'água  $W$  é realizada nas regiões de alta atividade da DWT.

Huang e Guan (2004) apresentaram uma técnica de marca d'água digital robusta que combina a decomposição em valores singulares (SVD - *Singular Value Decomposition*) e a DCT. A principal característica desta técnica foi aplicar a SVD na marca d'água. São inseridos na imagem original  $H$ , apenas os valores SV pois esses valores representam as maiores energias da marca  $W$ .

Um sistema que pode ser ajustado tanto para inserção de marca d'água frágil quanto para inserção de marca d'água robusta, foi proposto por Wu e Shih (2004). Dois parâmetros foram utilizados para definir o método, primeiro o VSTW (*Varying Sized Transform Window*), que determina o tamanho dos blocos que a imagem original será particionada, e também o QF (*Quantify Factor*) que é um fator quantitativo, que determina qual *bit* será alterado pela marca d'água. Uma matriz PB para representar características baseadas em píxeis extraídas de uma imagem, é usada para dar maior segurança à técnica. PB é obtida utilizando operadores morfológicos. Se  $VSTW = 1 \times 1$  píxel, significa que a inserção se dará no domínio do espaço, caso contrário, a inserção será no domínio da frequência. As variações nos valores de QF determinam se o método será aplicado para verificação de autenticidade (marca d'água frágil) ou para proteção de

direitos autorais (marca d'água robusta). O caso  $VSTW = 1 \times 1$  píxeis e  $QF(1, 1) = 1$ , fornece um sistema equivalente a técnica de Wong (1998), o sistema também pode ser equivalente a técnica de Cox *et al.* (1997), se  $VSTW = 256 \times 256$  píxeis e  $QF(1, 1) \neq 1$ .

Chen e Chen (2005) apresentaram um método utilizando *Frequency Shift Keying* (FSK), que é extraída da DFT. Neste método, a imagem original  $H$  é dividida em blocos e é feita uma seleção dos blocos com alta frequência, onde a marca d'água  $W$  é inserida, visando aumentar a robustez.

No trabalho de Lopes *et al.* (2006a), os autores propuseram uma técnica similar à de Wu e Shih (2004), porém com a possibilidade de inserção de uma marca d'água com maior número de informação do que a dada pela quantidade dos blocos da partição. Para isso, um detector de bordas e/ou uma análise de textura é aplicada na imagem original, para separar a imagem em blocos e sub-blocos. Desta forma é possível inserir uma marca d'água de tamanho maior que a marca d'água possível de ser inserida no método de Wu e Shih (2004), sem perda da qualidade visual da imagem marcada. O que determina se um bloco será particionado em sub-blocos é um limiar, escolhido pelo usuário. Se o nível do detector de bordas e/ou textura for maior que o limiar o bloco deverá ser particionado em  $k$  subblocos.

Diante do conhecimento de que os componentes mais significativos de uma imagem podem proporcionar maior robustez para sistemas de marca d'água digital, Liu, *et al.* (2012) apresentam uma técnica utilizando a transformada do contorno baseada em *wavelets* (WBCT - *Wavelets Based Countorlet Transform*), que pode fornecer uma boa representação das bordas e contornos de uma imagem, locais onde a marca d'água é inserida.

Wang, Bay e Yan (2013) afirmam que, para conseguir invisibilidade e robustez, marcas d'água digital devem ser inseridas em partes de texturas ou bordas de uma imagem. Sendo assim, sua proposta é aplicar um filtro de detecção de bordas sobre a imagem original. Feito isso, divide-se esta imagem em blocos, seleciona-se os blocos com maior número de bordas e insere-se a marca d'água nestes blocos utilizando a da DWT.

Algumas técnicas de marca d'água utilizando Redes Neurais Artificiais e Lógica *Fuzzy* para ajudar a selecionar os melhores pontos de cada imagem para se inserir uma marca foram propostas. Exemplos dessas propostas podem ser vistas no trabalho de Mehta e Rajpal (2013) e no trabalho de Sridevi e Fathima (2013).

Mehta e Rajpal (2013) apresentaram um método de inserção e extração de marca d'água para imagens digitais baseado na transformada fracionária discreta do cosseno

em duas dimensões (DFrCT - *Discrete Fractional Cosine Transform*) e na técnica de Rede Neural Artificial (RNA), GRNN (*General Regression Neural Network*). Essas duas técnicas são combinadas para extrair características da imagem que vai receber a marca d'água. Essas características são obtidas pelo treinamento da GRNN, que é baseado no relacionamento entre as baixas frequências dos coeficientes da DFrCT e a vizinhança dos píxeis de cada bloco da imagem, selecionados de acordo com critérios do sistema visual humano. A seleção apropriada dos pontos onde será aplicada uma marca d'água pode aumentar muito a eficiência do método.

Sridevi e Fathima (2013) propõem um método utilizando a DWT, SVD e Lógica *Fuzzy*. A DWT é aplicada tanto na imagem original  $H$ , quanto na marca d'água  $W$ , separando cada imagem em quatro bandas, a SVD é aplicado sobre as bandas HL, tanto da imagem original  $H$  como da marca d'água  $W$ . A marca  $W$  é inserida utilizando os valores SV da marca  $W$  e da imagem original  $H$ , o valor final do píxel é ajustado utilizando Lógica *Fuzzy*.

Os trabalhos sobre marca d'água digital não param de ser desenvolvidos. Manikanda e Ayyasamy (2014) apresentaram uma técnica de marca d'água digital robusta. A proposta se resume em utilizar a DWT e a transformada rápida de *Fourier* (FFT - *Fast Fourier Transform*). Primeiramente, aplica-se a DWT sobre a imagem original  $H$ , seleciona-se a banda  $HL$  e aplica-se a FFT. A marca d'água  $W$ , que deve ser do mesmo tamanho da banda  $HL$ , é inserida sobre os coeficientes da FFT utilizando um fator escalar, para deixar a inserção da marca d'água  $W$  imperceptível.

Uma técnica parecida com as de Cox *et al.* (1997), e de Chen e Chen (2005), foi proposta por Lang e Zhang em (2014). Nesse trabalho utiliza-se a transformada de *Fourier* fracional (FRFT - *Fractional Fourier Transform*). Para fazer a inserção da marca d'água, a imagem original é dividida em blocos não sobrepostos. Cada bloco é levado ao domínio da frequência pela FRFT. A marca d'água, no caso uma imagem binária, é inserida em alguns coeficientes da FRFT. Ao fazer a inversa da FRFT e reorganizar os blocos, obtém-se a imagem marcada.

Hu *et al.* (2015) apresentaram uma técnica com base no sistema visual humano e na transformada discreta de *wavelets*. Para garantir maior segurança, antes de inserir a marca d'água, a mesma é embaralhada usando um mapa logístico. Uma função de sensibilidade de contraste (CSF - *Function Contrast Sensitivity*) é utilizada para obter o peso ideal para inserção da marca, balanceando entre transparência e robustez. A marca d'água é incorporada em várias sub-bandas da DWT, afim de conseguir maior robustez

contra todos os ataques comuns.

Jain *et al.* (2015) apresentaram uma técnica de marca d'água digital que utiliza da transformada discreta de *wavelets* e da transformada discreta de *Fourier*. Nesta técnica, a DWT é aplicada em três níveis, tanto na marca d'água  $W$ , como na imagem original  $H$ . Em seguida, a DFT é aplicada sobre ambas imagens  $H$  e  $W$ , e então, a inserção da marca d'água é realizada.

Nasrin, Khoo e Rassem (2016) apresentaram uma técnica de marca d'água digital robusta que utiliza a transformada discreta de *wavelets* e a decomposição em valores singulares. Para inserir a marca d'água  $W$ , a imagem original  $H$  é dividida em blocos. Alguns desses blocos são selecionados, de acordo com características do sistema visual humano. A DWT é aplicada em cada um desses blocos, a SVD é aplicado sobre a banda LL de cada bloco. A marca d'água  $W$  é inserida sobre a matriz ortogonal  $U$ . Para obter a imagem marcada  $HW$ , a inversa da SVD e a inversa da DWT são aplicadas.

Uma outra técnica utilizando a transformada discreta de *wavelets* e a SVD, foi proposta por Bajracharya e Koju (2017). A DWT e a SVD são aplicados tanto na imagem original, como na marca d'água. Na imagem original a DWT é aplicada em 4 níveis e na marca d'água em 3 níveis. A SVD é aplicado sobre a banda HH4 da imagem original e em HH3 da marca d'água.

Em Fazlali *et al.* (2017), a transformação de contorno (CT - *Contourlet Transform*) é utilizada para selecionar o local onde a marca d'água será inserida. Neste método, primeiro a CT é aplicada na imagem original, produzindo uma imagem de detalhes e uma imagem de aproximação, que são separadas em blocos. A marca d'água é inserida nos blocos de detalhes, que são levados ao domínio da frequência pela DCT. Para garantir maior robustez, a marca d'água é inserida com proporção maior nos blocos que possuem maior número de detalhes.

Para desenvolver uma técnica de marca d'água altamente robusta, Zhao *et al.* (2017), propuseram utilizar a *Nonsampled Shearlet Transform* (NSST), o *Directional Filter Bank* (DFB) e a SVD, para identificar os pontos mais significativos de uma imagem e então, inserir uma marca d'água nesses locais.

No trabalho de Etemad *et al.* (2018), foi proposta uma técnica de marca d'água digital baseada na transformada discreta de Hadamard (DHT - *Discrete Hadamard Transform*). O processo de inserção da marca d'água consiste em dividir a imagem original em blocos não sobrepostos. Então, a DHT é aplicada sobre cada um dos blocos e a marca d'água, que é uma imagem logotipo, é inserida em alguns coeficientes de cada bloco transformado pela

DHT. No processo de extração, as marcas d'água inseridas em cada bloco são extraídas. A marca d'água extraída final é produzida por de uma escolha inteligente entre todas as versões extraídas dos blocos.

Jain e Ghanekar (2018), apresentam uma técnica de marca d'água digital robusta onde a inserção é realizada com base em componentes de textura de uma imagem. Para isso, a imagem original é dividida em blocos, uma seleção dos blocos com maior número de texturas é realizada utilizando a transformada de *Arnold*. A inserção da marca d'água é realizada utilizando a transformada discreta do cosseno e a decomposição em valores singulares.

Como o trabalho apresentado por Cox *et al.* (1997) é uma das técnicas propulsoras de marca d'água digital robusta, esta técnica foi selecionada para ser implementada e receber a decomposição de imagens apresentada neste trabalho, MARDI. Sendo assim, a técnica será descrita no próximo capítulo, assim como, a forma de decompor a imagem.

## 4 MARDI - MARCA D'ÁGUA ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS

Este trabalho tem como foco, sistemas de marca d'água robustos. Assim, foram realizados estudos para apresentar uma maneira de aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital, pela incorporação de uma forma de decomposição de imagens.

A incorporação da decomposição de imagens à técnicas de marca d'água digital robustas recebeu o nome de MARDI (Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens). Essa decomposição permite selecionar pontos mais significativos de uma imagem, que segundo, Cox et al. (1997), Wang, Bay e Yan (2013) e Nargundkar (2016) podem proporcionar robustez para técnicas de marca d'água digital.

A decomposição utilizada, separa a imagem em parte de detalhes e parte estrutural. A parte estrutural (suavizada), representa áreas homogêneas da imagem e a parte de detalhes, representa áreas mais significativas da imagem, ou seja, textura, bordas e ruídos.

Os sistemas propostos utilizando a decomposição de imagens, receberam o nome de MARDI (Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens).

No sistema proposto, a decomposição de imagens foi aplicada, primeiramente, a uma técnica de marca d'água digital robusta, proposta por Cox *et al.* (1997). Os resultados do método originalmente proposto por Cox *et al.* (1997) com a aplicação da decomposição de imagens comprovaram que a proposta proporciona bons resultados.

A forma de decompor a imagem original, o método de inserção, extração e os resultados da aplicação são apresentados nas próximas seções.

### 4.1 DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS

A idéia de decomposição de imagens surgiu a partir do trabalho de Vese e Osher (2003), que descreve uma forma de gerar uma imagem de detalhes  $v$  e uma imagem suavizada  $u$ . Essas imagens são obtidas utilizando-se o funcional, dado pela Equação (6).



$$F(u, g_1, g_2) = \int_{\Omega} |\nabla u| + \lambda \delta + \mu \epsilon, \quad (6)$$

na qual,  $\delta$  representa a Equação (7) e  $\epsilon$  a Equação (8).

$$\delta = \int_{\Omega} |f - u - \partial_x g_1 - \partial_y g_2|^2 dx dy, \quad (7)$$

$$\epsilon = \left[ \int_{\Omega} (\sqrt{g_1^2 + g_2^2}) dx dy \right], \quad (8)$$

$\lambda, \mu > 0$ , são parâmetros de ajuste,  $f$  é a imagem original,  $u$  é a imagem suavizada e  $\Omega$  é o domínio de definição das imagens  $f$  e  $u$ . A componente de detalhes  $v$  é dada por  $v = \text{div } \vec{g}$ , onde  $\vec{g} = (g_1, g_2)$ ,  $g_1 = \frac{1}{2\lambda} \frac{u_x}{|\nabla u|}$ ,  $g_2 = \frac{1}{2\lambda} \frac{u_y}{|\nabla u|}$ . Desta forma:

$$f \simeq u + \text{div } \vec{g}. \quad (9)$$

Pelo fato da decomposição proposta por Vese e Osher (2003) gerar uma Equação diferencial parcial não linear, cuja implementação não é trivial, neste trabalho foi proposta uma simplificação desse processo. Esta simplificação pode ser entendida como uma aproximação do método de Vese e Osher (2003).

Essa aproximação foi feita utilizando uma técnica de suavização de imagens proposta por Rudin, Osher e Fatemi (1992), que a partir de uma imagem original  $f$ , gera-se uma imagem suavizada  $u$ . Uma subtração entre a imagem  $f$  e a imagem  $u$  é realizada gerando uma imagem de detalhes que é considerada como  $\tilde{v}$ , e que pode ser entendida como uma aproximação de  $v$ .

A suavização proposta por Rudin, Osher e Fatemi (1992) é dada pela minimização do funcional apresentado na Equação 10:

$$F(u) = \int_{\Omega} |\nabla u| + \lambda \int_{\Omega} |f - u|^2 dx dy, \quad (10)$$

onde  $\Omega$ ,  $u$ ,  $f$ , e  $\lambda$  são definidos como na Equação (7).

A equação de Euler Lagrange referente à minimização da Equação (10), resulta em uma das Equações (11) ou (12), onde:

$$2\lambda(u - f) = \text{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right), \quad (11)$$

$$u = f + \frac{1}{2\lambda} \text{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right). \quad (12)$$

A discretização da Equação (12), implementada neste trabalho, é a mesma apresentada por Vese e Osher (2003), fazendo  $g_1, g_2 = 0$  na Equação (6). O termo  $\text{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)$  foi

discretizado no ponto  $(ih, jh)$  por:

$$\operatorname{div} \left( \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) \cong [\beta] + \frac{1}{h^2} [\eta]. \quad (13)$$

onde  $\beta$  e  $\eta$ , representam as Equações (14) e (15), respectivamente.

$$\beta = \frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{2h}\right)^2}} - \frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i,j} - u_{i-1,j}}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j+1} - u_{i-1,j-1}}{2h}\right)^2}}. \quad (14)$$

$$\eta = \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{h}\right)^2}} - \frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j-1}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j} - u_{i,j-1}}{h}\right)^2}}. \quad (15)$$

Então, o seguinte processo iterativo semi-implícito foi usado para resolver a Equação (12):

$$u_{i,j}^{n+1} = f_{i,j} + \frac{1}{2\lambda h^2} [\theta] + \frac{1}{2\lambda h^2} [\rho], \quad (16)$$

onde  $\theta$  e  $\rho$ , representam as Equações (17) e (18), respectivamente.

$$\theta = \frac{u_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i,j}^n}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j}^n}{2h}\right)^2}} - \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i-1,j}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i,j}^n - u_{i-1,j}^n}{h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i-1,j+1}^n - u_{i-1,j-1}^n}{2h}\right)^2}}. \quad (17)$$

$$\rho = \frac{u_{i,j+1}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j}^n}{h}\right)^2}} - \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j-1}^{n+1}}{\sqrt{\left(\frac{u_{i+1,j-1}^n - u_{i-1,j-1}^n}{2h}\right)^2 + \left(\frac{u_{i,j}^n - u_{i,j-1}^n}{h}\right)^2}}. \quad (18)$$

A imagem  $u \cong u^{n+1}$  obtida na Equação (12) é uma imagem suavizada. A componente  $v$  que contém os detalhes é obtida pela diferença entre a imagem original e a imagem suavizada, isto é,  $v^{n+1} = f - u^{n+1}$ .

Um exemplo de imagem decomposta em parte estrutural e parte de detalhes pode ser visualizado na Figura 21. Na Figura 21(a), visualiza-se a imagem original, na Figura 21(b), a imagem decomposta em parte estrutural, o aspecto é de que a imagem passou por uma suavização. A imagem decomposta em parte de detalhes, pode ser visualizada na Figura 21(c), essa imagem foi obtida, subtraindo-se da imagem original, apresentada na Figura 21(a), a imagem estrutural apresentada na Figura 21(b). Na imagem decomposta em parte de detalhes, Figura 21(c), visualiza-se apenas as texturas, bordas e ruídos, regiões mais significativas da imagem. Na Figura 21(d) visualiza-se a imagem resultante da soma das imagens apresentadas nas Figuras 21(b) e 21(c).

No sistema MARDI, a decomposição de imagem é utilizada para que uma marca d'água possa ser inserida na imagem de detalhes, exemplo Figura 21(c), que é somada a parte estrutural, exemplo Figura 21(b), gerando uma imagem marcada.

**Figura 21** – Exemplo de decomposição de imagens.



(a) Imagem Original.



(b) Imagem Decomposta em Parte Estrutural.



(c) Imagem Decomposta em Parte de Detalhes.



(d) Imagem Resultante da Parte Estrutural + Parte de Detalhes.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 4.2 MÉTODO DE INSERÇÃO DE MARCA D'ÁGUA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS

A decomposição de imagens proposta por Vese e Osher (2003) possibilita obter os componentes mais significativos de uma imagem, componentes que podem proporcionar boa robustez à técnicas de marca d'água digital. Diante disso, o método MARDI apresentado neste trabalho, se resume em aplicar a decomposição de imagens proposta por Vese e Osher (2003), em uma técnica de marca d'água digital.

Nesta seção, é descrita a forma como o método MARDI foi implementado. Pelo fato da técnica proposta por Cox *et al.* (1997), ser uma das principais técnicas de marca d'água digital robusta da literatura, iniciou-se com esta técnica para testar o método proposto. A técnica de Cox *et al.* (1997) foi implementada, a decomposição foi aplicada sobre ela e foram realizados testes da implementação da técnica originalmente proposta por Cox *et*

*al.* (1997) e da técnica com a decomposição, ambas foram implementadas em Matlab.

A diferença entre o método MARDI e a técnica de Cox *et al.* (1997), é que em Cox *et al.* (1997) a marca d'água  $W$  é inserida nos  $N$  maiores coeficientes de uma imagem original  $H$ , levada ao domínio da frequência com a DCT. No método MARDI, primeiro a imagem original  $H$  é decomposta em parte de detalhes  $HT$  e parte estrutural  $HS$ . Como a parte de detalhes  $HT$  possui características mais significativas da imagem,  $HT$  é usada para a inserção da marca d'água  $W$ . Assim, esta parte é levada para o domínio da frequência e os  $N$  maiores coeficientes são utilizados para inserção da marca d'água  $W$ .

O algoritmo de inserção da marca d'água  $W$  é descrito na subseção 4.2.1, enquanto que o algoritmo de extração da marca d'água é descrito na subseção 4.2.2 e os resultados obtidos com a implementação da técnica original de Cox *et al.* (1997) e com a implementação da mesma técnica utilizando a decomposição de imagens, podem ser vistos na seção 4.3.

#### 4.2.1 Algoritmo de Inserção da Marca d'água via Decomposição de Imagens.

O processo de inserção da marca d'água  $W$  é descrito nos seguintes passos:

1. Suavize a imagem original  $H$ , obtendo a imagem de estrutura  $HS$ ;
2. Obtida a imagem  $HS$ , faça a subtração  $H - HS$ , gerando a imagem de detalhes  $HT$ ;
3. Efetue a DCT em  $HT$ , obtendo a imagem de detalhes no domínio da frequência  $HT^{DCT}$ ;
4. Uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos de  $HT^{DCT}$  é extraída e denotada por  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ;
5. A marca d'água  $W$  é transformada em um vetor  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ , que será inserido em  $V$ , utilizando a Equação (19), gerando uma nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ .

$$v'_i = v_i(1 + \alpha w_i), \quad (19)$$

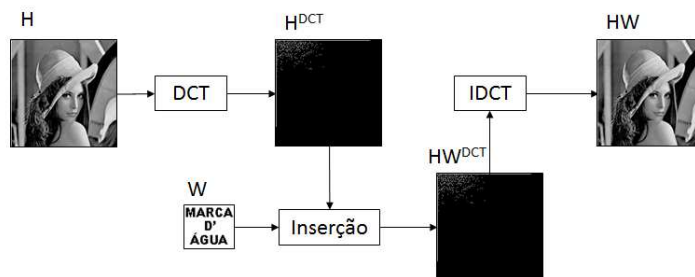
na qual  $\alpha$  é um fator escalar, que vai determinar a intensidade em que  $W$  vai alterar  $H$ ;

6. A sequência  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  é substituída pela nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ , obtendo  $HTW^{DCT}$ , que é a imagem  $HT$  marcada no domínio da frequência;

7. A Inversa da DCT é efetuada em  $HTW^{DCT}$ , obtendo  $HTW$ , que é a imagem  $HT$  marcada;
8. Para obter a imagem marcada  $HW$ , some  $HTW + HS$ .

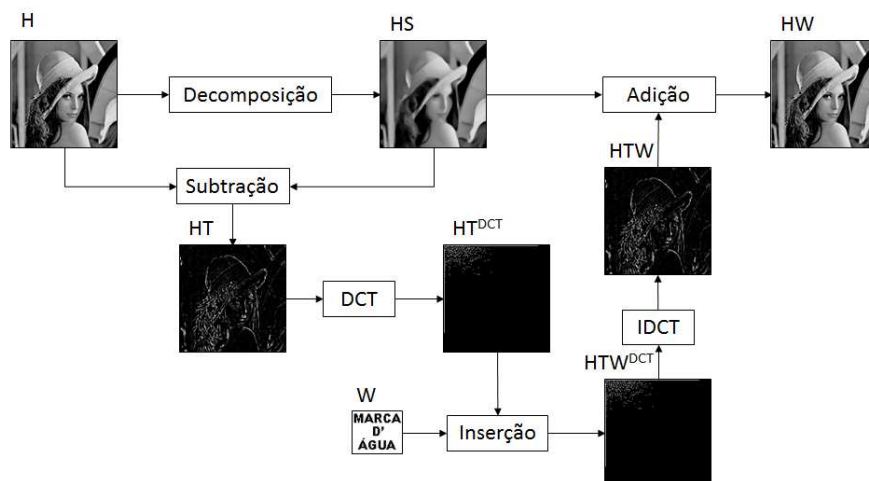
Para visualizar a diferença entre a inserção da marca d'água pela técnica originalmente proposta por Cox *et al.* (1997) e pela técnica MARDI, duas imagens são apresentadas nas Figuras 22 e 23. Na Figura 22, pode ser visualizado um fluxograma que ilustra o algoritmo de inserção da marca d'água pelo método de Cox *et al.* (1997) e na Figura 23 visualiza-se o fluxograma de inserção da marca d'água pelo método MARDI.

**Figura 22** – Fluxograma de inserção da técnica de Cox *et al.*



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 23** – Fluxograma de inserção do método MARDI, baseado em Cox *et al.*



Fonte: Elaborada pelo autor.

No fluxograma apresentado na Figura 22, inserção pelo método de Cox *et al.* (1997), uma imagem original  $H$  é levada ao domínio da frequência por meio da DCT, gerando  $H^{DCT}$ , a marca d'água  $W$  é inserida nos maiores coeficientes de  $H^{DCT}$ , produzindo a imagem marcada no domínio da frequência, denominada  $HW^{DCT}$ , a IDCT é aplicada em  $HW^{DCT}$  gerando a imagem marcada  $HW$ .

No fluxograma apresentado na Figura 23, inserção pelo método MARDI baseado em Cox *et al.* (1997), o processo de inserção de marca d'água apresentado no fluxograma da Figura 22 se repete, porém acrescido da decomposição de imagens. Neste fluxograma a imagem original  $H$  é decomposta em uma imagem estrutural  $HS$ , que é subtraída de  $H$ , gerando a imagem de detalhes  $HT$ . Após a imagem  $HT$  passar pelo processo de inserção da marca d'água, ela recebe o nome de  $HTW$ , que é somada a  $HS$  para se obter a imagem marcada  $HW$ .

#### 4.2.2 Algoritmo de Extração da Marca d'água via Decomposição de Imagens.

No processo de extração da marca d'água são utilizadas as imagens original  $H$  e imagem marcada  $HW$ . Para extrair a marca d'água  $WEX$ , os seguintes passos devem ser seguidos:

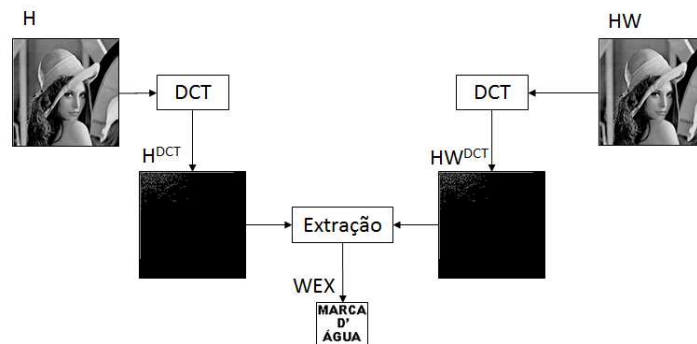
1. Suavize a imagem original  $H$ , obtendo a imagem de estrutura  $HS$ ;
2. Obtida a imagem  $HS$ , faça a subtração  $H - HS$ , gerando a imagem de detalhes  $HT$ ;
3. Efetue a DCT em  $HT$ , obtendo a imagem de detalhes no domínio da frequência  $HT^{DCT}$ ;
4. Tendo a imagem marcada  $HW$  e a imagem suavizada  $HS$ , subtraia  $HW - HS$ , gerando a imagem  $HTW$ ;
5. Efetue a DCT em  $HTW$ , obtendo a imagem de detalhes marcada  $HTW^{DCT}$ , no domínio da frequência;
6. A marca d'água extraída  $WEX$  é obtida pela diferença entre as duas imagens  $HTW^{DCT}$  e  $HT^{DCT}$ , calculada por meio da Equação (20), que é a inversa da equação utilizada no processo de inserção.

$$WEX_i = \frac{vhtw_i - 1}{\alpha}, \quad (20)$$

na Equação (20)  $VHTW$  é uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da imagem de detalhes marcada  $HTW^{DCT}$  e  $VHT$  é outra sequência, com os  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da imagem de detalhes, também no domínio da frequência  $HT^{DCT}$ .

Nas Figuras 24 e 25, podem ser visualizados os respectivos fluxogramas de extração da marca d'água pela técnica de Cox et al. (1997) e pelo método MARDI, respectivamente. No fluxograma apresentado na Figura 24, extração pelo método de Cox *et al.* (1997), uma imagem original  $H$  e uma imagem marcada  $HW$  são levadas ao domínio da frequência por meio da DCT, gerando  $H^{DCT}$  e  $HW^{DCT}$ , então, o processo de extração é executado para se obter a marca d'água extraída  $WEX$ .

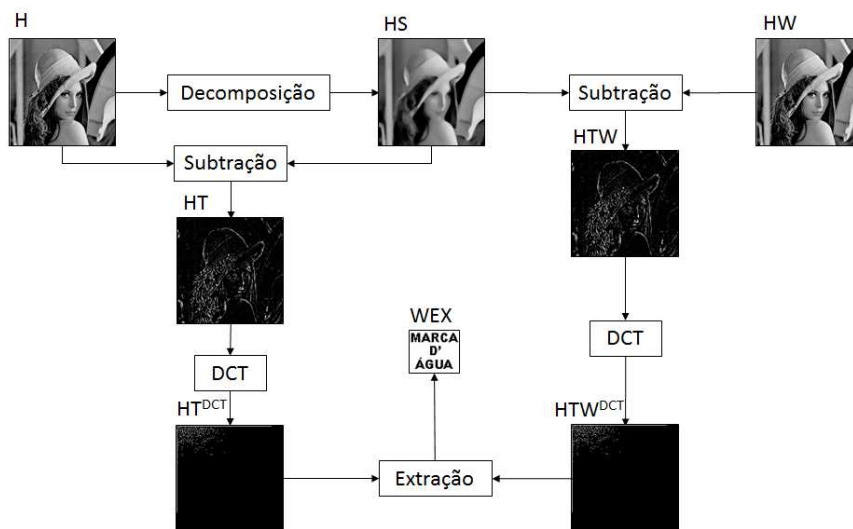
**Figura 24** – Fluxograma de extração da técnica de Cox *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No fluxograma apresentado na Figura 25, o processo de extração da marca d'água  $WEX$  é o mesmo do apresentado no fluxograma da Figura 24, acrescido da decomposição de imagens, onde a imagem original  $H$  é decomposta em  $HS$  para gerar as imagens de detalhes  $HT$  e  $HTW$ , usadas no processo de extração.

**Figura 25** – Fluxograma de extração do método MARDI, baseado em Cox *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os fluxogramas apresentados nas Figuras 22, 23, 24 e 25, permitem visualizar que a

diferença entre as técnicas de inserção e extração da marca d'água pela técnica de Cox *et al.* (1997) e a técnica MARDI, reside na decomposição de imagens. Essa alteração proporcionou bons resultados em relação à robustez da técnica. Esses resultados são descritos na próxima seção.

#### 4.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE COX *ET AL.*

A técnica proposta por Cox *et al.* (1997) foi escolhida para exemplificar a aplicação do método MARDI, por ser uma das principais técnicas de marca d'água digital robusta da literatura.

Com o objetivo de medir o desempenho do método proposto, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos a partir da inserção da marca d'água  $W$ , diretamente na imagem original  $H$ , com os resultados da marca d'água  $W$ , sendo inserida na parte de detalhes da imagem original  $H$ , empregando o método MARDI.

Os resultados apresentados neste teste, foram obtidos utilizando-se imagens em níveis de cinza, tanto para imagem original  $H$ , como para a marca d'água  $W$ . O tamanho das imagens originais  $H$  foi de  $512 \times 512$  píxeis e as marcas d'água  $W$  de  $32 \times 32$  píxeis.

Nos testes realizados com a técnica de Cox *et al.* (1997) o valor de  $\alpha$  utilizado para a inserção da marca foi 0,00033. Nos testes realizados com o método MARDI aplicado à técnica de Cox *et al.*, o  $\alpha$  utilizado para a inserção da marca foi 0,0013 e foram feitas 150 iterações para decompor a imagem original  $H$ . Esses parâmetros foram escolhidos para que a qualidade visual das imagens marcadas  $HW$  fosse a mesma nas duas técnicas.

Para verificar a qualidade visual das imagens marcadas  $HW$ , foi utilizado o coeficiente de correlação normalizado (NCC), a fórmula utilizada para calcular NCC é apresentada na Equação (21), na qual  $\bar{W}$  e  $\overline{WEX}$  representam a média dos valores dos píxeis de  $W$  e  $WEX$ , respectivamente.

$$NCC(W, WEX) = \frac{\sum_m \sum_p (W_{m,p} - \bar{W})(WEX_{m,p} - \overline{WEX})}{\sqrt{(\sum_m \sum_p (W_{m,p} - \bar{W})^2)(\sum_m \sum_p (WEX_{m,p} - \overline{WEX})^2)}}. \quad (21)$$

O resultado de  $NCC$  é um valor entre  $-1$  e  $1$ . Se a correlação for igual a  $1$ , as imagens comparadas são idênticas, se a correlação foi igual a  $-1$ , as imagens são inversas (uma é o negativo da outra). Quanto mais próximo de  $0$  for o valor da correlação, maior a diferença entre as imagens comparadas.



O valor de NCC entre as imagens marcadas  $HW$ , tanto pela técnica de Cox *et al.* (1997) quanto pelo método MARDI, e a imagem original foi de  $NCC = 0,9992$ .

Após marcar as imagens originais, por ambas as técnicas, as imagens marcadas  $HW$  passaram por alguns ataques, sendo eles, compressão JPEG de 90%, 70%, 50%, 30%, 20% e 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano. Para verificar a robustez do método MARDI, as marcas foram extraídas das imagens marcadas atacadas  $HWA$  e comparadas com a marca d'água original. O coeficiente de correlação normalizado também foi utilizado para medir a similaridade entre marca d'água extraída  $WEX$  e marca d'água original  $W$ .

Na Figura 26, são apresentadas as imagens originais  $H$ , as marcas d'água originais  $W$ , imagens marcadas  $HW$ , as marcas d'água extraídas  $WEX$  e as imagens marcadas e atacadas  $HWA$  pelas duas técnicas. Na Figura 26(a) e na Figura 26(b) visualiza-se a imagem original e a marca d'água original, a imagem marcada e a marca d'água extraída utilizando o método MARDI, respectivamente. Da mesma maneira, na Figura 26(c) pode-se visualizar a imagem original e a marca d'água original utilizada na técnica de Cox *et al.* (1997) e na Figura 26(d), a imagem marcada e a marca d'água extraída pela técnica de Cox *et al.*

As imagens marcadas e atacadas, assim como as marcas d'água extraídas após cada ataque são visualizadas nas Figuras de 26(e) até 26(x). Na Figura 26(e), visualiza-se a imagem marcada pelo método MARDI e atacada por compressão JPEG 90% e a respectiva marca d'água extraída. Na Figura 26(f), pode ser visualizada a imagem marcada pelo método MARDI e atacada por compressão JPEG 70% junto de sua respectiva marca d'água extraída. As imagens marcadas pela técnica de Cox *et al.* (1997) e atacadas por compressão JPEG 90% e 70% e suas respectivas marcas extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 26(g) e 26(h). Seguindo a mesma linha de apresentação, as imagens marcadas pelo método MARDI e atacadas por compressão JPEG 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta, adição de ruído gaussiano e suas respectivas marcas d'água extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 26(i), 26(j), 26(m), 26(n), 26(q), 26(r), 26(u), 26(v), respectivamente. Enquanto as imagens marcadas pela técnica de Cox *et al.* 1997, que passaram pelos mesmos ataques e suas marcas d'água extraídas, podem ser visualizadas nas Figuras 26(k), 26(l), 26(o), 26(p), 26(s), 26(t), 26(w), 26(x), respectivamente.

As imagens apresentadas na Figura 26 indicam que os resultados do método MARDI

**Figura 26** – Resultados obtidos com a implementação do método MARDI e técnica de Cox *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

aplicado à técnica de Cox *et al.* (1997) são relevantes, uma vez que o método MARDI proporcionou um aumento de robustez em relação a técnica originalmente proposta por Cox *et al.* (1997).

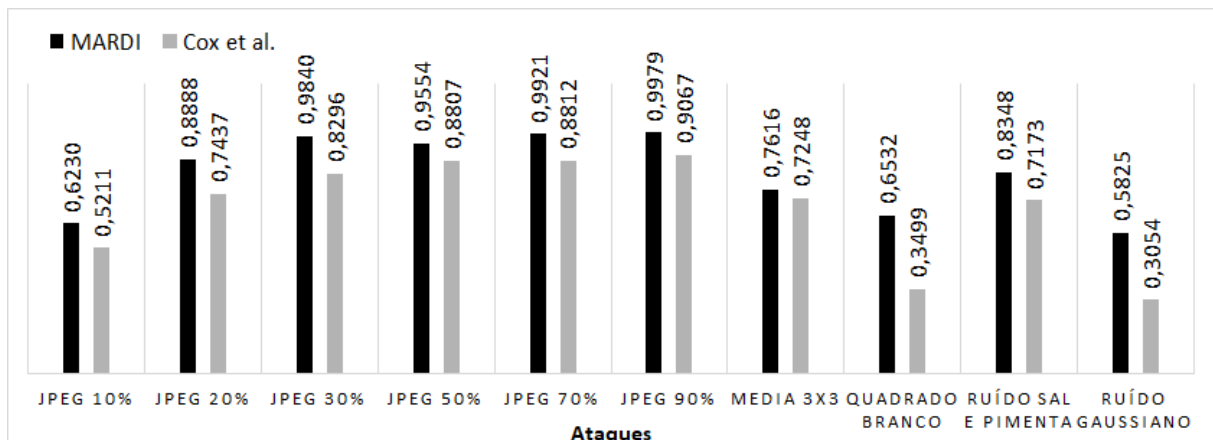
A melhora na robustez fica ainda mais evidente ao comparar os valores de NCC entre as marcas d'água extraídas pelas duas técnicas. Os valores de NCC podem ser visualizados na Tabela 1 e no gráfico apresentado na Figura 27, mostrando que o método MARDI proporcionou performance maior em todos os casos, chegando a 15% em ataques de compressão JPEG e 30% no ataque de inserção de quadrado branco.

**Tabela 1** – Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox *et al.*

Ataques	MARDI	Cox <i>et al.</i>
JPEG 90%	0,9979	0,9067
JPEG 70%	0,9921	0,8812
JPEG 50%	0,9840	0,8807
JPEG 30%	0,9554	0,8296
JPEG 20%	0,8888	0,7437
JPEG 10%	0,6230	0,5211
Média 3 × 3	0,7616	0,7248
Quadrado Branco	0,6532	0,3499
Ruído Sal e Pimenta	0,8348	0,7173
Ruído Gaussiano	0,5825	0,3054

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 27** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A técnica de marca d'água digital apresentada por Cox *et al.* (1997), foi utilizada apenas como uma forma de verificar se a proposta de incorporar a decomposição de

imagens em técnicas de marca d'água digital robusta poderia ser viável.

Diante dos resultados do primeiro teste, outras quatro técnicas foram analisadas e implementadas, visando verificar a eficiência do método MARDI. Em cada um dos testes foram geradas imagens marcadas, essas imagens foram atacadas utilizando as mesmas operações do teste realizado com a técnica de Cox *et al.* (1997) (compressão JPEG de 90%, 70%, 50%, 30%, 20% e 10%, filtragem de suavização média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano). Após os ataques, as marcas d'água foram extraídas e comparadas com as marcas d'água originais.

No próximo capítulo, a descrição de cada técnica implementada e os resultados obtidos são apresentados. A visualização dos resultados dos quatro testes seguirá a mesma metodologia utilizada para a apresentação do teste de comparação do método MARDI com a técnica de Cox *et al.* (1997). Sendo nas duas primeiras colunas das imagens de resultados apresentadas imagens da técnica com o método MARDI e nas duas últimas colunas apresentadas imagens da técnica comparada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES DO MÉTODO MARDI

A seleção apropriada de onde inserir a marca d'água digital, pode influenciar muito na robustez das técnicas desenvolvidas. Tal fato, originou a idéia de decompor uma imagem original em parte estrutural e parte de detalhes, antes de fazer a inserção da marca d'água, possibilitando selecionar os componentes mais significativos de uma imagem.

Com os resultados apresentados no Capítulo 4 foi possível perceber que realmente, o local onde inserir a marca d'água influenciou de maneira positiva na robustez da técnica apresentada. O aumento da robutez foi possível pela inserção da marca d'água nos componentes mais significativos da parte de detalhes.

Como um dos objetivos deste trabalho é apresentar uma maneira de aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital aplicadas a imagens, outras técnicas de marca d'água digital foram implementadas e testadas, com e sem a aplicação do método MARDI. Todas as implementações apresentadas neste capítulo foram realizadas utilizando o software Matlab versão R2015a.

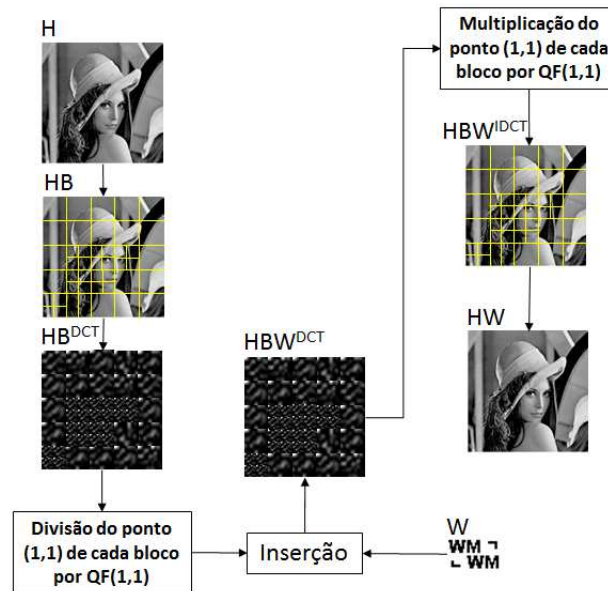
Nas próximas seções as técnicas de Lopes *et al.* (2006a), Koch e Zhao (1994), Shoemaker (2002) e de Cox *et al.* (1997) com a utilização da DFT, são apresentadas e comparadas com a aplicação, nessas técnicas, do método MARDI.

### 5.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE LOPES *ET AL.*

Para verificar a eficiência do método MARDI, um segundo teste, foi realizado utilizando uma técnica para inserir a marca d'água digital proposta por Lopes *et al.* (2006a). Essa técnica consiste em dividir uma imagem  $H$  em blocos não sobrepostos. Um filtro de detecção de bordas é aplicado sobre cada bloco. Os blocos com maior número de píxeis de bordas são subdivididos. A DCT é aplicada em cada bloco e sub-bloco. O píxel mais significativo de cada um dos blocos/sub-blocos é dividido por um fator quantitativo (QF). A inserção da marca d'água  $W$  é realizada no ponto mais significativo de cada bloco/sub-bloco, utilizando alteração dos *bits* menos significativos.

Os algoritmos de inserção e extração da técnica proposta por Lopes *et al.* (2006a), são ilustrados nos fluxogramas apresentados nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

**Figura 28** – Fluxograma de inserção da técnica proposta por Lopes *et al.*



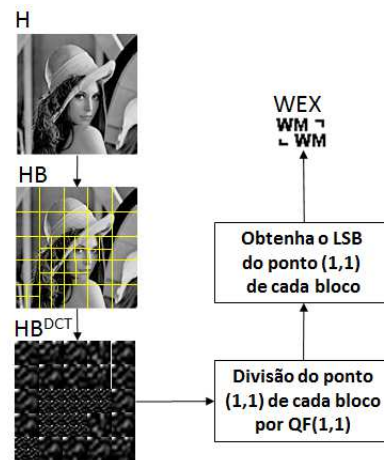
Fonte: Elaborada pelo autor.

No fluxograma apresentado na Figura 28, a imagem original  $H$  é dividida em blocos não sobrepostos, os blocos com maior índice de textura são subdivididos, formando os blocos e sub-blocos  $HB$ . A DCT é aplicada em cada bloco/sub-bloco, gerando  $HB^{DCT}$ . O pixel (1,1) de cada bloco/sub-bloco é dividido pelo pixel (1,1) de uma matriz denominada  $QF$ . A marca d'água  $W$  é inserida em cada um dos blocos/sub-blocos, gerando os blocos/sub-blocos marcados no domínio da frequência  $HBW^{DCT}$ . O pixel (1,1) de cada bloco/sub-bloco é multiplicado por  $QF(1,1)$  e a IDCT é aplicada em cada um dos blocos/sub-blocos, gerando a imagem marcada  $HW$ .

Na extração da marca d'água apresentada no fluxograma visualizado na Figura 29, a imagem original  $H$  é dividida em blocos não sobrepostos, os blocos com maior índice de textura são subdivididos, formando os blocos e sub-blocos  $HB$ . A DCT é aplicada em cada bloco/sub-bloco, gerando  $HB^{DCT}$ . O pixel (1,1) de cada bloco/sub-bloco é dividido pelo pixel (1,1) de uma matriz denominada  $QF$ . Para obter a marca d'água extraída  $WEX$ , o LSB de cada bloco/sub-bloco é obtido.

O método MARDI, também foi empregado neste teste. A diferença é que com a utilização do método MARDI, primeiro a imagem original  $H$  é decomposta em parte estrutural  $HS$  e parte de detalhes  $HT$ , para que a inserção da marca d'água  $W$  seja realizada na parte de detalhes  $HT$ , que depois é somada à parte estrutural  $HS$ , gerando

**Figura 29** – Fluxograma de extração da técnica proposta por Lopes *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

a imagem marcada  $HW$ .

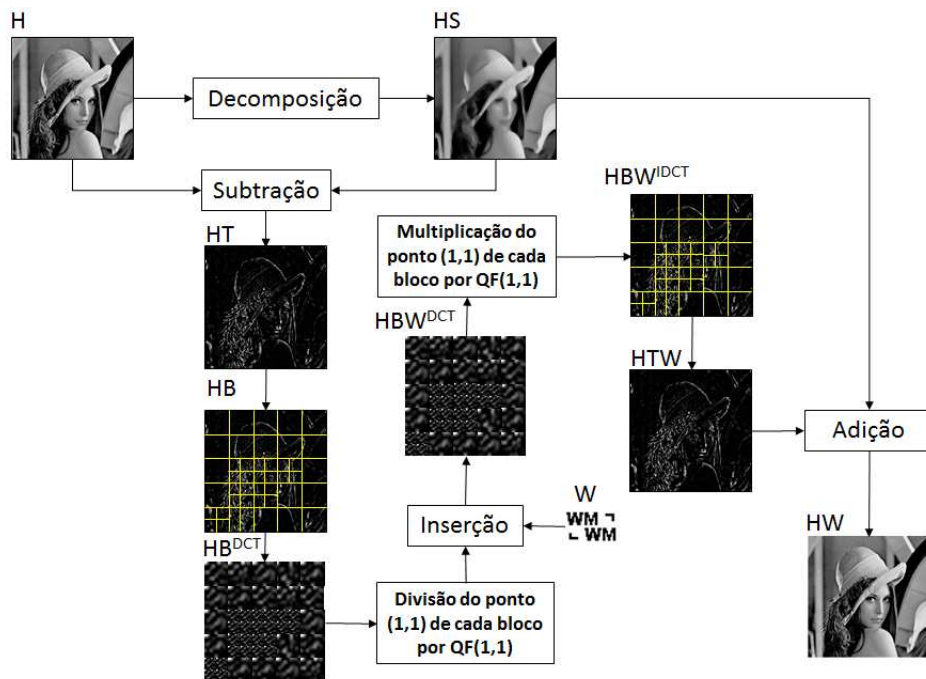
Os algoritmos de inserção e extração do método MARDI aplicado à técnica de Lopes *et al.* (2006a), podem ser visualizados nos fluxogramas apresentados nas Figuras 30 e 31, respectivamente. Eles se diferem dos fluxogramas apresentados nas Figuras 28 e 29, pois há a decomposição da imagem original  $H$  em parte estrutural  $HS$  e parte de detalhes  $HT$  no fluxograma de inserção e  $HTW$  no fluxograma de extração.

Os resultados do segundo teste podem ser visualizados na Figura 32. Na Figura 32(a) pode ser visualizada a imagem original e a marca d'água original, e na Figura 32(b) a imagem marcada e a marca d'água extraída utilizando o método MARDI aplicado à técnica de Lopes *et al.* (2006a). Da mesma maneira, na Figura 32(c) e na Figura 32(d), visualiza-se a imagem original, a marca d'água original, a imagem marcada e a marca d'água extraída pela técnica de Lopes *et al.* (2006a).

Nesse teste, as marcas tiveram tamanhos diferentes devido as características do método proposto por Lopes *et al.* (2006a). A marca d'água utilizada no método MARDI aplicado em Lopes *et al.* é de tamanho  $35 \times 32$  píxeis, enquanto a marca d'água utilizada na técnica originalmente proposta por Lopes *et al.* é de tamanho  $41 \times 29$  píxeis. Alguns parâmetros foram ajustados para que as imagens marcadas tivessem a mesma qualidade visual, medida pelo coeficiente de correlação normalizado,  $NCC = 0,9998$ .

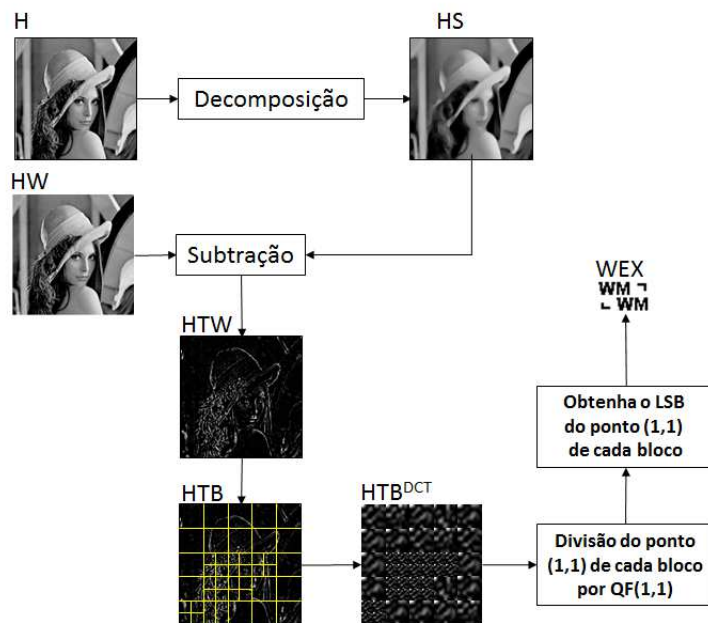
As imagens marcadas pelas duas técnicas passaram por operações de processamento digital de imagens (ataques). As imagens marcadas e atacadas, assim como as marcas d'água extraídas após cada ataque podem ser visualizadas nas Figuras de 32(e) até 32(x).

**Figura 30** – Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado à técnica de Lopes *et al.*



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 31** – Fluxograma de extração do método MARDI aplicado à técnica de Lopes *et al.*



Fonte: Elaborada pelo autor.



**Figura 32** – Resultados obtidos com a implementação da técnica proposta por Lopes *et al.*



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI.



(b) Imagem Marcada e Marca Extraída - MARDI.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - Lopes.



(d) Imagem Marcada e Marca Extraída - Lopes.



(e) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - MARDI.



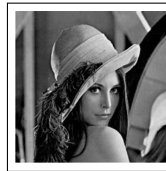
(f) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - MARDI.



(g) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - Lopes.



(h) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - Lopes.



(i) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - MARDI.



(j) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - MARDI.



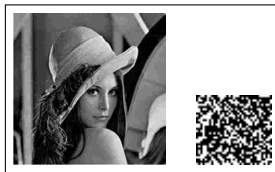
(k) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - Lopes.



(l) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - Lopes.



(m) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - MARDI.



(n) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - MARDI.



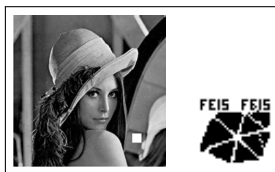
(o) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - Lopes.



(p) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - Lopes.



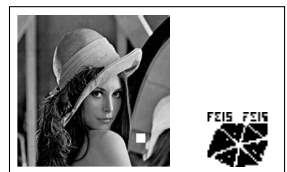
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - Lopes.



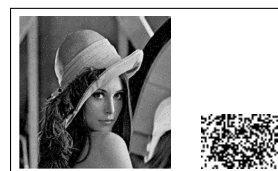
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - Lopes.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - Lopes.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - Lopes.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na Figura 32(e), visualiza-se a imagem marcada pelo método MARDI aplicado em Lopes *et al.* (2006a) e atacada por compressão JPEG 90% e a respectiva marca d'água extraída. Na Figura 32(f), pode ser visualizada a imagem marcada pelo método MARDI aplicado em Lopes *et al.* (2006a) e atacada por compressão JPEG 70% junto de sua respectiva marca d'água extraída.

As imagens marcadas pela técnica de Lopes *et al.* (2006a) e atacadas por compressão JPEG 90% e 70% e suas respectivas marcas extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 32(g) e 32(h). Seguindo a mesma linha de apresentação, as imagens marcadas pelo método MARDI aplicado em Lopes *et al.* (2006a) e atacadas por compressão JPEG 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta, adição de ruído gaussiano e suas respectivas marcas d'água extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 32(i), 32(j), 32(m), 32(n), 32(q), 32(r), 32(u), 32(v), respectivamente. Enquanto que as imagens marcadas pela técnica de Lopes *et al.* (2006a), que passaram pelos mesmos ataques e suas marcas d'água extraídas, podem ser respectivamente visualizadas nas Figuras 32(k), 32(l), 32(o), 32(p), 32(s), 32(t), 32(w), 32(x), respectivamente.

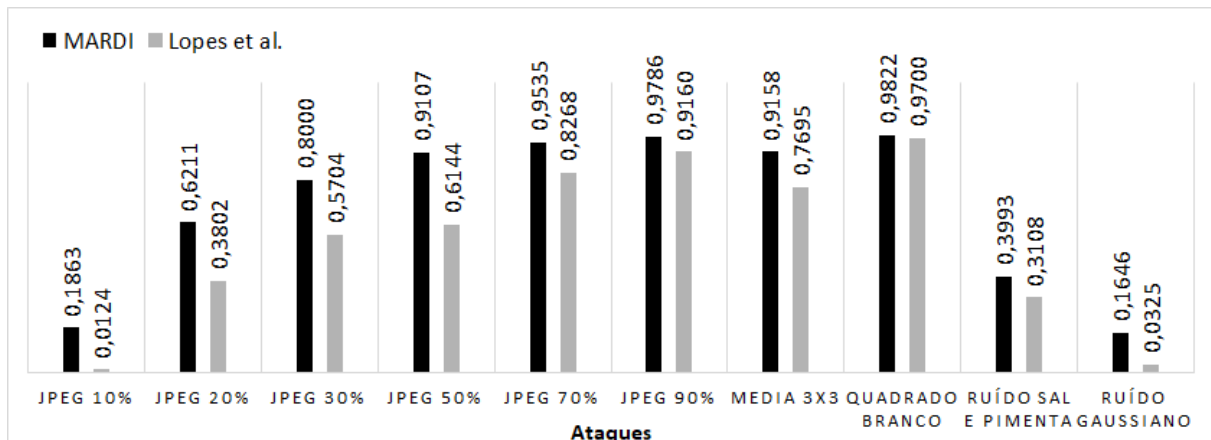
Novamente, é possível perceber tanto visualmente, observando a Figura 32, como pelos valores de NCC, apresentados na Tabela 2 e no gráfico apresentado na Figura 33, que o método MARDI proporcionou bons resultados, chegando a ser até 29% melhor que o método originalmente proposto por Lopes *et al.* (2006a).

**Tabela 2** – Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Lopes *et al.*

Ataques	MARDI	Lopes <i>et al.</i>
JPEG 90%	0,9786	0,9160
JPEG 70%	0,9535	0,8268
JPEG 50%	0,9107	0,6144
JPEG 30%	0,8000	0,5704
JPEG 20%	0,6211	0,3802
JPEG 10%	0,1863	0,0124
Média $3 \times 3$	0,9158	0,7695
Quadrado Branco	0,9822	0,9700
Ruído Sal e Pimenta	0,3993	0,3108
Ruído Gaussiano	0,1646	0,0325

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 33** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d’água extraídas pelas técnicas MARDI e de Lopes *et al.*



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

## 5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE KOCH E ZHAO.

Um terceiro teste foi realizado, no qual, foi utilizada uma técnica de marca d’água digital baseada no trabalho de Koch e Zhao (1994). Assim como a técnica de Cox *et al.* (1997), essa foi uma das primeiras técnicas de marca d’água digital robusta, e suas idéias foram utilizadas em muitas outras técnicas de marca d’água.

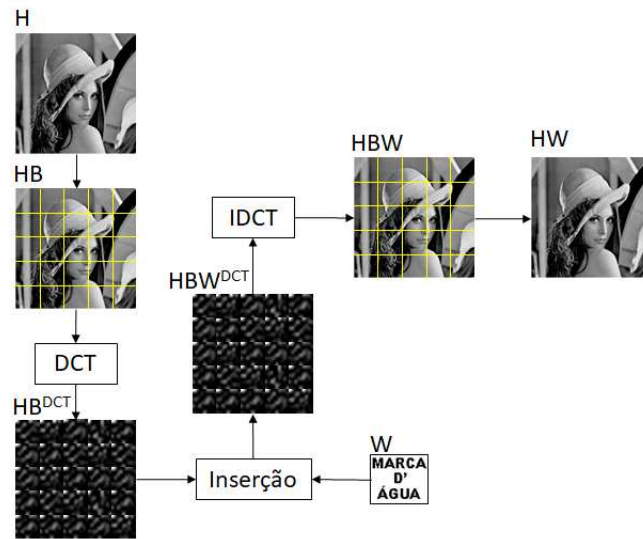
A técnica desenvolvida consiste em dividir a imagem original  $H$  em blocos não sobrepostos. Aplica-se a DCT em cada um dos blocos e insere-se a marca d’água  $W$  no componente mais significativo de cada um dos blocos. A marca d’água  $W$  utilizada nesta técnica é uma imagem binária. No momento da inserção, o píxel da marca d’água  $W$  a ser inserido é verificado. Se esse píxel tiver valor = 1 um  $\alpha$  com valor positivo é utilizado, caso o píxel da marca d’água  $W$  tenha valor = 0, um outro  $\alpha$  com valor negativo é que será utilizado para inserir a marca d’água  $W$ .

Os algoritmos de inserção e extração da técnica baseada em Koch e Zhao (1994) são ilustrados nos fluxogramas apresentados nas Figuras 34 e 35, respectivamente.

No fluxograma apresentado na Figura 34 a imagem original  $H$  é dividida em blocos não sobrepostos, a DCT é aplicada em cada bloco gerando os blocos  $HB^{DCT}$ , a inserção da marca d’água  $W$  é realizada no componente mais significativo de cada  $HB^{DCT}$  gerando os blocos marcados no domínio da frequência  $HBW^{DCT}$ . Para obter a imagem marcada  $HW$ , a IDCT é aplicada em cada um dos  $HBW^{DCT}$ .

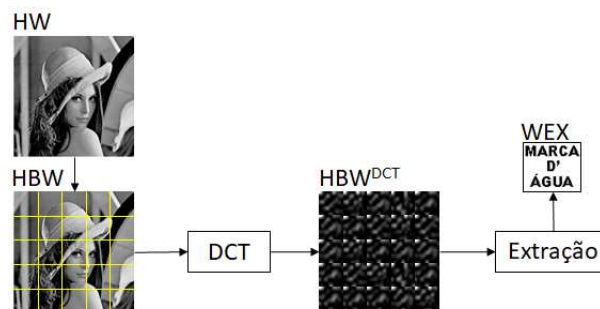
Na extração da marca d’água apresentada no fluxograma visualizado na Figura 35, a

**Figura 34** – Fluxograma de inserção da técnica baseada em Koch e Zhao.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 35** – Fluxograma de extração da técnica baseada em Koch e Zhao.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

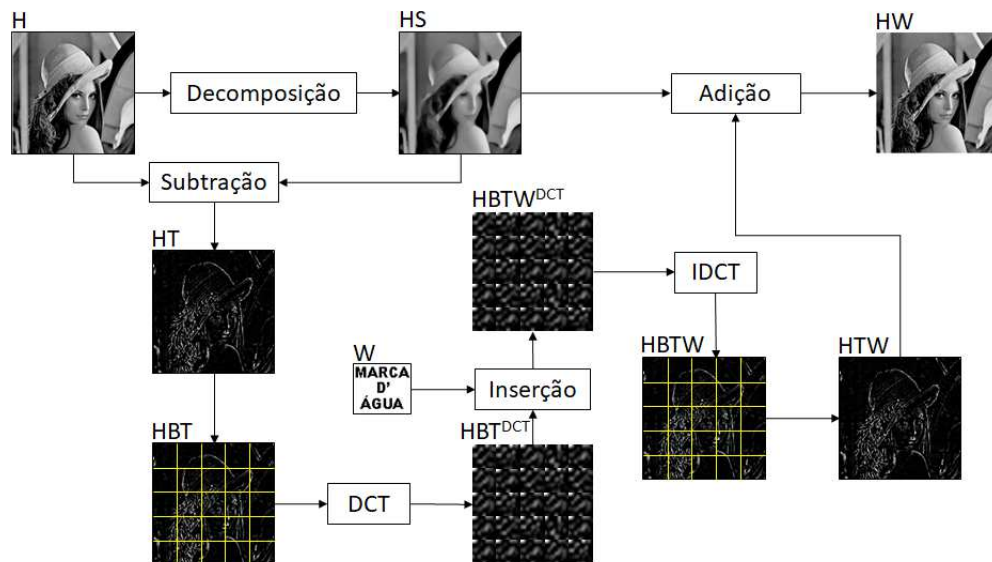
imagem marcada  $HW$  é dividida em blocos não sobrepostos, a DCT é aplicada em cada bloco gerando  $HBW^{DCT}$ . O processo de extração da marca d'água é realizado, obtendo  $WEX$ .

O método MARDI, também foi empregado neste teste, decompondo então, a imagem original  $H$  em parte estrutural  $HS$  e parte de detalhes  $HT$ , antes de fazer a inserção da marca d'água  $W$ .

Os algoritmos de inserção e extração do método MARDI aplicado em Koch e Zhao (1994) podem ser visualizados nos fluxogramas apresentados nas Figuras 36 e 37, respectivamente. Eles diferem dos fluxogramas apresentados nas Figuras 34 e 35 pela incorporação da decomposição de imagens, que no fluxograma de inserção produziu, a

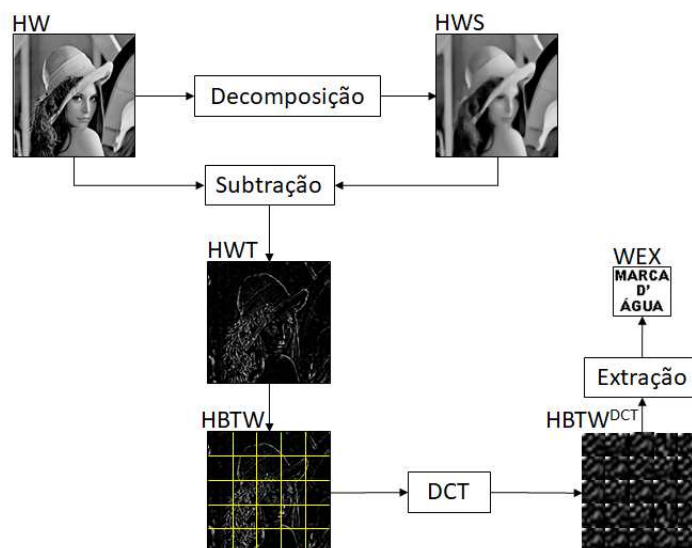
partir da imagem original  $H$ , uma imagem estrutural  $HS$  e uma imagem de detalhes  $HT$ . No fluxograma de extração, a imagem marcada  $HW$  foi decomposta em imagem estrutural  $HWS$  e imagem de detalhes  $HWT$ . A partir disso, os algoritmos são idênticos.

**Figura 36** – Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado em Koch e Zhao.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 37** – Fluxograma de extração do método MARDI aplicado em Koch e Zhao.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para comparar os resultados da técnica baseada em Koch e Zhao (1994), com a técnica utilizando o método MARDI, uma marca d'água binária  $W$ , de tamanho  $32 \times 32$  pixels, foi

inserida em uma imagem original  $H$ , em níveis de cinza, de tamanho  $512 \times 512$  píxeis. Após a inserção da marca  $W$  pelos dois métodos, as imagens marcadas  $HW$  sofreram ataques (compressão JPEG 90%, 70%, 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano). Para comparar a robustez dos métodos, foi calculado o  $NCC$  das imagens marcadas  $HW$  e das marcas d'água extraídas  $WEX$ . O valor de  $NCC$  das imagens marcadas foi de 0.9992 para ambas as técnicas, os valores de  $NCC$  de cada marca d'água extraída são apresentados tanto na Tabela 3 como no gráfico apresentado na Figura 39.

Os testes e a visualização destes seguem a mesma metodologia. Sendo assim, na Figura 38(a) e na Figura 38(b) podem ser visualizadas a imagem original e a marca d'água original, a imagem marcada e a marca d'água extraída utilizando o método MARDI aplicado em Koch e Zhao (1994), respectivamente. Da mesma maneira, na Figura 38(c) e na Figura 38(d) visualiza-se a imagem original, a marca d'água original, a imagem marcada e a marca d'água extraída pela técnica de Koch e Zhao (1994).

As imagens marcadas e atacadas, assim como as marcas d'água extraídas após cada ataque podem ser visualizadas nas Figuras de 38(e) até 38(x). Na Figura 38(e) visualiza-se a imagem marcada pelo método MARDI aplicado em Koch e Zhao (1994) e atacada por compressão JPEG 90% e a respectiva marca d'água extraída. Na Figura 38(f), pode ser visualizada a imagem marcada pelo método MARDI aplicado em Koch e Zhao (1994) e atacada por compressão JPEG 70% junto de sua respectiva marca d'água extraída.

As imagens marcadas pela técnica baseada em Koch e Zhao (1994) e atacadas por compressão JPEG 90% e 70% e suas respectivas marcas extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 38(g) e 38(h).

As imagens marcadas pelo método MARDI aplicado em Koch e Zhao (1994) e atacadas por compressão JPEG 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta, adição de ruído gaussiano e suas respectivas marcas d'água extraídas podem ser visualizadas nas Figuras 38(i), 38(j), 38(m), 38(n), 38(q), 38(r), 38(u), 38(v), respectivamente.

As imagens marcadas pela técnica baseada em Koch e Zhao (1994), que passaram pelos mesmos ataques e suas marcas d'água extraídas, podem ser visualizadas nas Figuras 38(k), 38(l), 38(o), 38(p), 38(s), 38(t), 38(w), 38(x), respectivamente.

Neste teste, houve uma particularidade, na técnica baseada em Koch e Zhao (1994), é muito difícil verificar visualmente a similaridade das marcas d'água que foram extraídas

**Figura 38** – Resultados obtidos com a implementação da técnica baseada em Koch e Zhao.



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - Koch e Zhao.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - Koch e Zhao.



(e) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - MARDI.



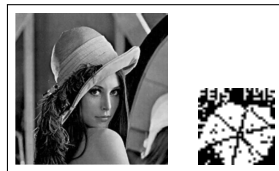
(f) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - MARDI.



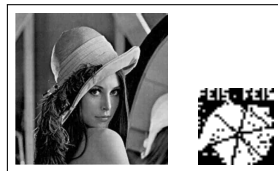
(g) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(h) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(i) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - MARDI.



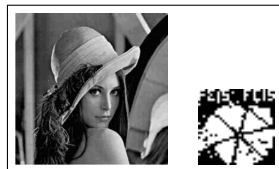
(j) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - MARDI.



(k) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(l) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(m) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - MARDI.



(n) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - MARDI.



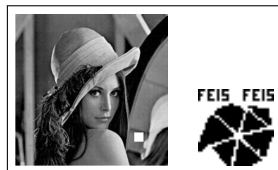
(o) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(p) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - Koch e Zhao.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - Koch e Zhao.

Fonte: Elaborada pelo autor.

após os ataques de compressão JPEG de 70%, 50%, 30%, 20% e 10%, pois as marcas d'água extraídas foram muito deterioradas. Já com a aplicação de MARDI, foi possível reconhecer as marcas extraídas após tais ataques, entretanto, elas passaram a ser o negativo da marca d'água original. De qualquer forma, este resultado foi considerado como positivo, pois é possível reconhecer as marcas d'água extraídas.

Os valores de NCC referentes ao teste podem ser visualizados na Tabela 3 e no gráfico apresentado na Figura 39, o que comprova mais uma vez, que MARDI pode melhorar a robustez de técnicas de marca d'água digital. conseguindo neste caso, robustez até 87% melhor (compressão JPEG 20%). Apenas para efeito de visualização, para gerar o gráfico apresentado na Figura 39, foram considerados os valores de NCC absolutos, pois quando uma imagem comparada pelo NCC é o inverso da outra, ela produz valores entre 0 e -1.

Em alguns ataques, MARDI não foi mais robusta que a técnica baseada em Koch e Zhao (1994), entretanto, a diferença entre os valores NCC não foram tão expressivos quanto nos casos em que MARDI foi mais robusta que a técnica comparada.

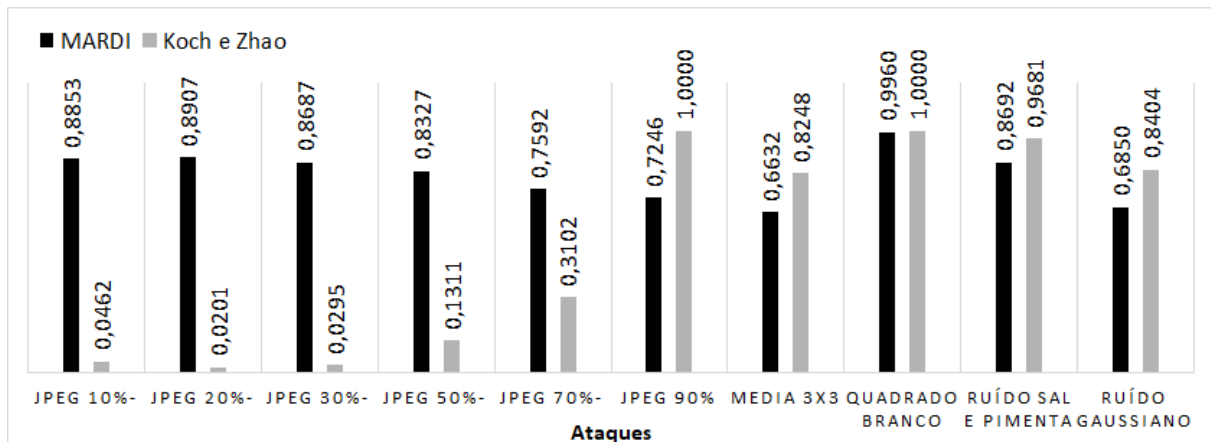
**Tabela 3** – Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Koch e Zhao.

Ataques	MARDI	Koch e Zhao.
JPEG 90%	0,7246	1,0000
JPEG 70%	-0,7592	0,3102
JPEG 50%	-0,8327	0,1311
JPEG 30%	-0,8687	0,0295
JPEG 20%	-0,8907	0,0201
JPEG 10%	-0,8853	-0,0462
Média 3 × 3	0,6632	0,8248
Quadrado Branco	0,9960	1,0000
Ruído Sal e Pimenta	0,8692	0,9681
Ruído Gaussiano	0,6850	0,8404

**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 39** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Koch e Zhao.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE SHOEMAKER.

Uma técnica de marca d'água digital proposta por Shoemaker (2002) foi utilizada no quarto teste realizado para verificar a robustez que a decomposição de imagens pode proporcionar às técnicas de marca d'água digital. Nessa técnica a marca d'água  $W$  é inserida nos componentes de frequências médias da DCT. Primeiro a imagem original  $H$  é dividida em blocos não sobrepostos e a DCT é aplicada em cada um dos blocos. A marca d'água  $W$ , que é uma imagem binária, é inserida em cada um dos blocos, nos píxeis (5,2) ou (4,3), dependendo das condições de cada bloco.

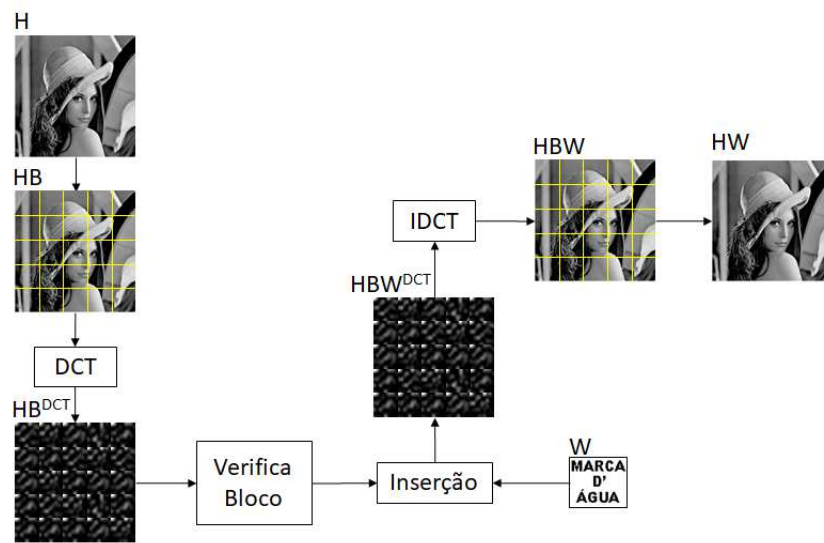
Os fluxogramas ilustrando a técnica proposta por Shoemaker (2002) e o método MARDI aplicado em Shoemaker (2002), podem ser visualizados nas Figuras 40, 41, 42 e 43.

No fluxograma de inserção da marca d'água pela técnica proposta por Shoemaker (2002), Figura 40, a imagem original  $H$  é dividida em blocos não sobrepostos, a DCT é aplicada em cada bloco e uma verificação desses blocos é realizada para definir como será a inserção da marca d'água  $W$ . Para obter a imagem marcada  $HW$ , a IDCT é aplicada em cada bloco.

No fluxograma de extração da marca d'água, Figura 41, a imagem marcada  $HW$  é dividida em blocos não sobrepostos, a DCT é aplicada em cada um dos blocos, que passam por uma verificação para que a marca d'água  $W$  possa ser extraída.

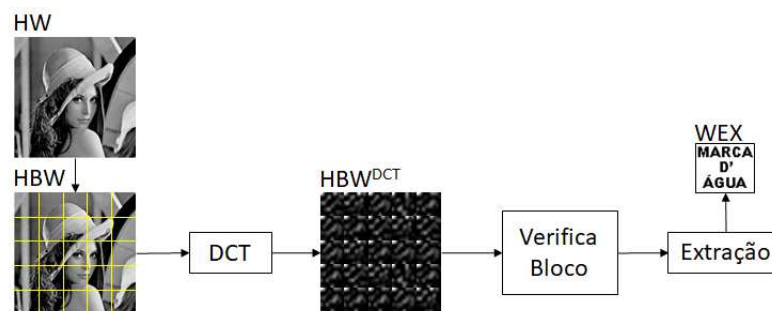
Os fluxogramas do método MARDI aplicado em Shoemaker (2002) apresentados nas

**Figura 40** – Fluxograma de inserção da técnica de Shoemaker.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 41** – Fluxograma de extração da técnica de Shoemaker.

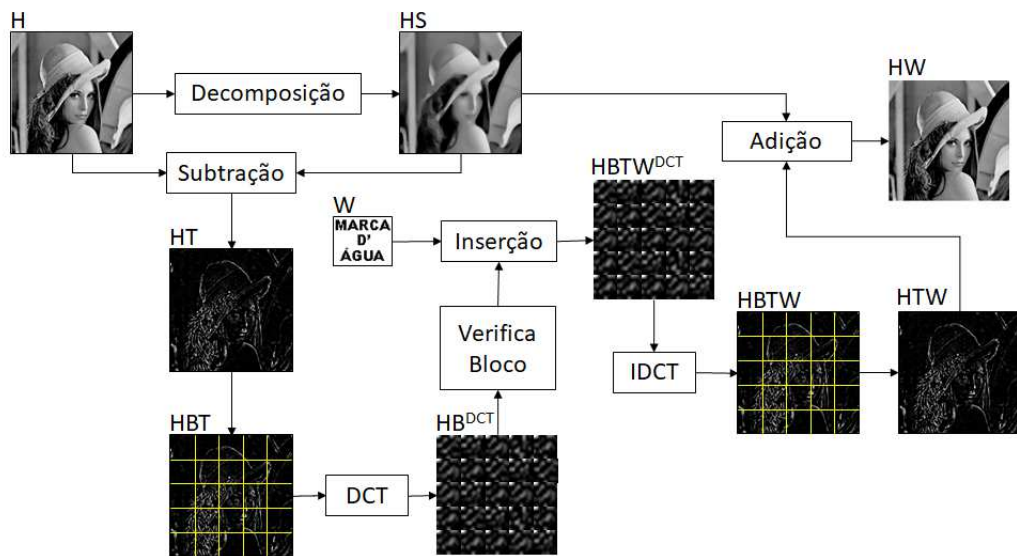


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figuras 42 e 43 são similares aos apresentados nas Figuras 40 e 41, diferindo-se pela incorporação da decomposição de imagens aplicada em  $H$  no método de inserção e em  $HW$  no método de extração.

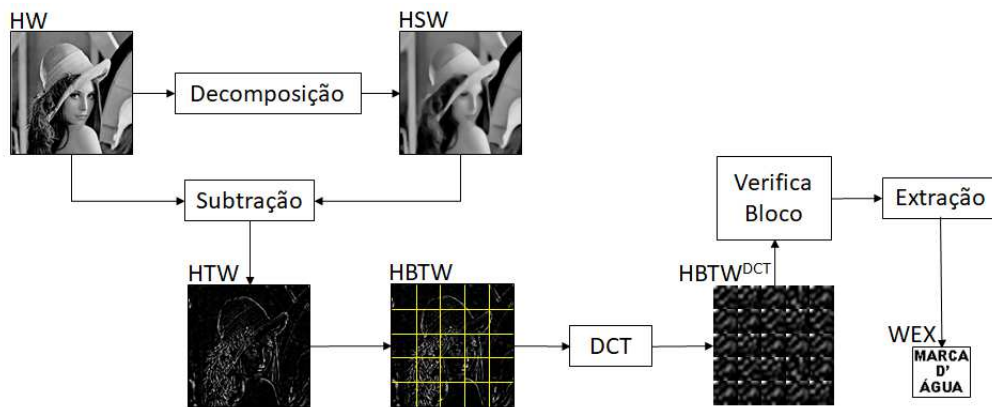
Para comparar os resultados da técnica de Shoemaker (2002), com a técnica utilizando o método MARDI, uma marca d'água binária  $W$ , de tamanho  $32 \times 32$  píxeis, foi inserida em uma imagem original  $H$  em níveis de cinza, de tamanho  $512 \times 512$  píxeis. Após a inserção da marca  $W$  pelas duas técnicas, as imagens marcadas  $HW$  sofreram ataques (compressão JPEG 90%, 70%, 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano).

**Figura 42** – Fluxograma de inserção do método MARDI aplicado em Shoemaker.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 43** – Fluxograma de extração do método MARDI aplicado em Shoemaker.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os resultados obtidos no quarto teste, podem ser visualizados na Figura 44 e seguem a mesma metodologia estabelecida neste trabalho.

**Figura 44** – Resultados obtidos com a implementação da técnica de Shoemaker.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para comparar a robustez das técnicas, foi calculado o *NCC* das imagens marcadas *HW* e das marcas d'água extraídas *WEX*. O valor de *NCC* das imagens marcadas foi de 0,9992 para ambas as técnicas, os valores de *NCC* de cada marca d'água extraída são apresentados tanto na Tabela 4 como no gráfico apresentado na Figura 45.

As marcas extraídas utilizando a técnica proposta por Shoemaker (2002) foram irreconhecíveis após ataques de compressão JPEG de 30%, 20% e 10%. Já na técnica utilizando MARDI, as marcas extraídas após os mesmos ataques de compressão JPEG, passaram a ser o negativo da marca d'água original *W*. Porém, com uma qualidade visual que permite identificar a marca d'água que foi inserida corresponde a marca d'água extraída. Demonstrando mais uma vez que a utilização da decomposição de imagens, proporciona boa robustez às técnicas de marca d'água digital.

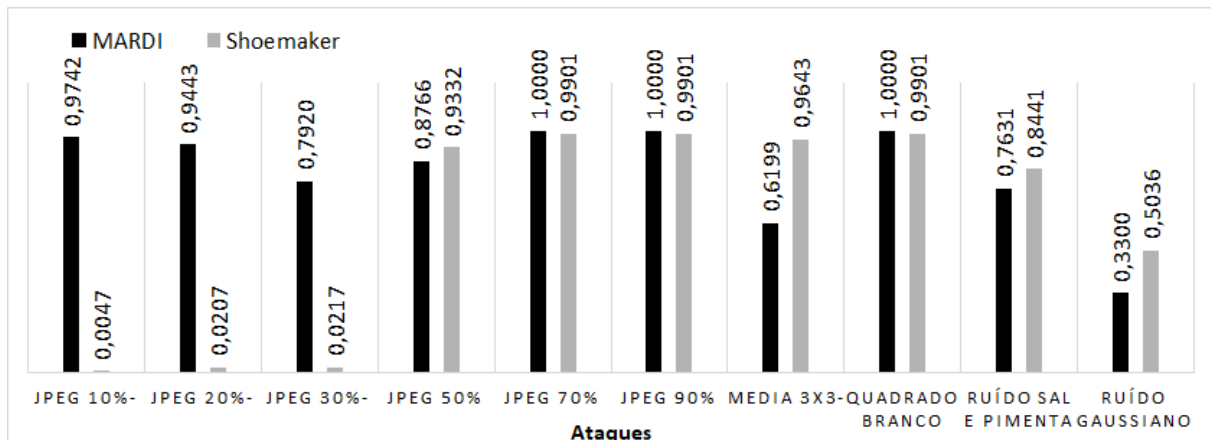
Os valores de *NCC* referentes a este teste podem ser visualizados na Tabela 4 e no gráfico apresentado na Figura 45. A robustez obtida por MARDI neste teste foi até 96% maior que na técnica de Shoemaker (2002). Nos casos em que a técnica de Shoemaker teve mais robustez que a técnica MARDI, essa robustez foi no máximo 8% maior (ruído sal e pimenta). Novamente, assim como no terceiro teste, para efeito de visualização, no gráfico apresentado na Figura 45 foram utilizados os valores absolutos de *NCC*.

**Tabela 4** – Valores de similaridade (*NCC*) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Shoemaker.

<b>Ataques</b>	MARDI	Shoemaker.
JPEG 90%	1,0000	0,9901
JPEG 70%	1,0000	0,9901
JPEG 50%	0,8766	0,9332
JPEG 30%	-0,7920	-0,0217
JPEG 20%	-0,9443	0,0207
JPEG 10%	-0,9742	-0,0047
Média $3 \times 3$	-0,6199	0,9643
Quadrado Branco	1,0000	0,9901
Ruído Sal e Pimenta	0,7631	0,8441
Ruído Gaussiano	0,3300	0,5036

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 45** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d’água extraídas pelas técnicas MARDI e de Shoemaker.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO MARDI À TÉCNICA DE COX *ET AL.* UTILIZANDO DFT.

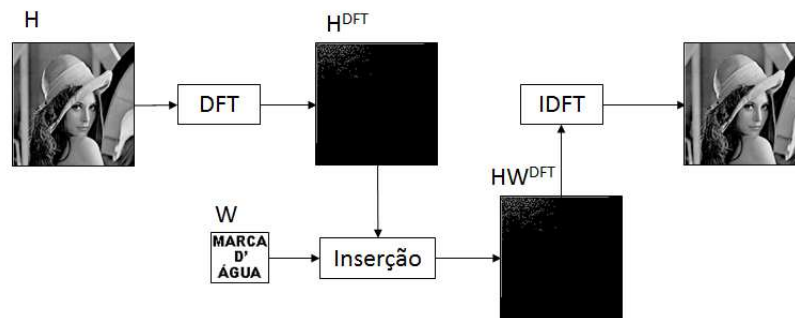
Os quatro testes apresentados se basearam em técnicas de marca d’água digital que utilizam a transformada discreta do cosseno para fazer a inserção e extração da marca d’água. Como outras transformadas podem ser utilizadas para tal fim, um quinto teste foi realizado. Neste teste, foi feita uma alteração da técnica de Cox *et al.* (1997). No lugar da transformada discreta do cosseno, foi utilizada a transformada discreta de *Fourier*. A alteração foi realizada nas duas técnicas, na proposta por Cox *et al.* (1997) e em MARDI, já apresentadas no Capítulo 4.

Os resultados foram obtidos utilizando imagens em níveis de cinza, tanto para imagem original  $H$  como para a marca d’água  $W$ . O tamanho das imagens originais foi de  $512 \times 512$  píxeis e das marcas d’água de  $32 \times 32$  píxeis.

Os fluxogramas ilustrando as propostas de alteração da DCT por DFT, tanto da técnica de Cox *et al.* (1997) como do método MARDI podem ser visualizados nas Figuras 46, 47, 48 e 49.

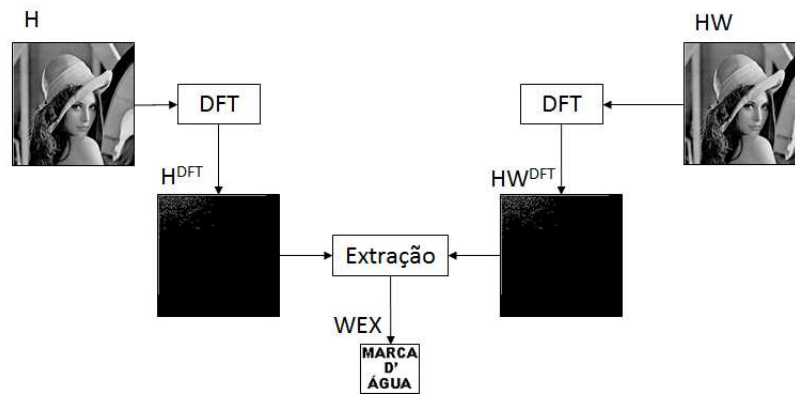
Na Figura 46 é ilustrado o processo de inserção da marca d’água  $W$  pela técnica proposta por Cox *et al.* (1997). Neste fluxograma, uma imagem original  $H$  é levada ao domínio da frequência com a DFT, gerando  $H^{DFT}$ , a marca d’água  $W$  é inserida nos maiores coeficientes de  $H^{DFT}$ , produzindo a imagem marcada no domínio da frequência, denominada  $HW^{DFT}$ , a IDFT é aplicada em  $HW^{DFT}$  gerando a imagem marcada  $HW$ .

**Figura 46** – Fluxograma de inserção da técnica de Cox *et al.*, utilizando DFT.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 47** – Fluxograma de extração da técnica de Cox *et al.*, utilizando DFT.



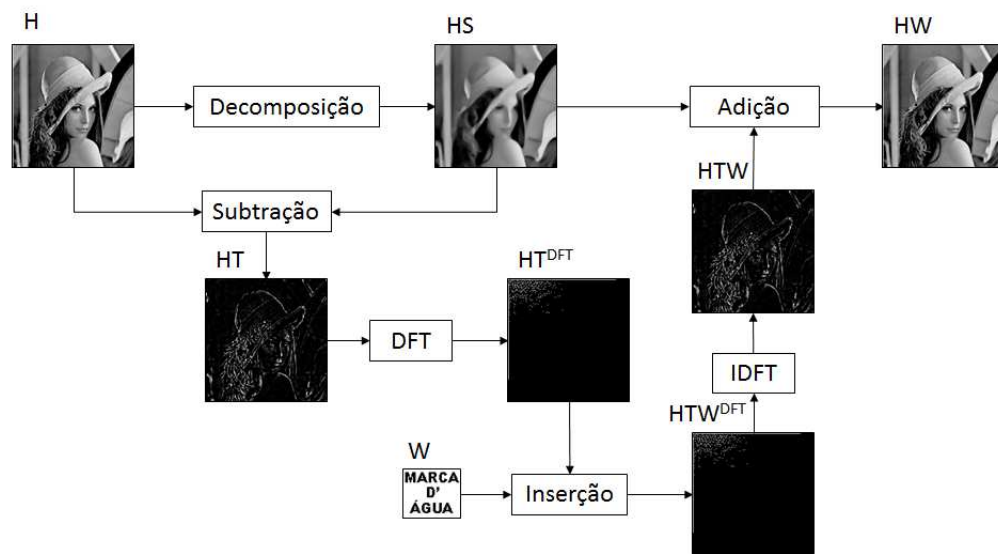
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na Figura 47 pode ser observado o processo de extração da marca d'água  $W$  pela técnica proposta por Cox *et al.* (1997), uma imagem original  $H$  e uma imagem marcada  $HW$  são levadas ao domínio da frequência usando a DFT, gerando  $H^{DFT}$  e  $HW^{DFT}$ , então, o processo de extração é executado para se obter a marca d'água extraída  $WEX$ .

As Figuras 48 e 49 ilustram, respectivamente, a inserção e extração da marca d'água  $W$ , pela mesma técnica, porém com a utilização do método MARDI.

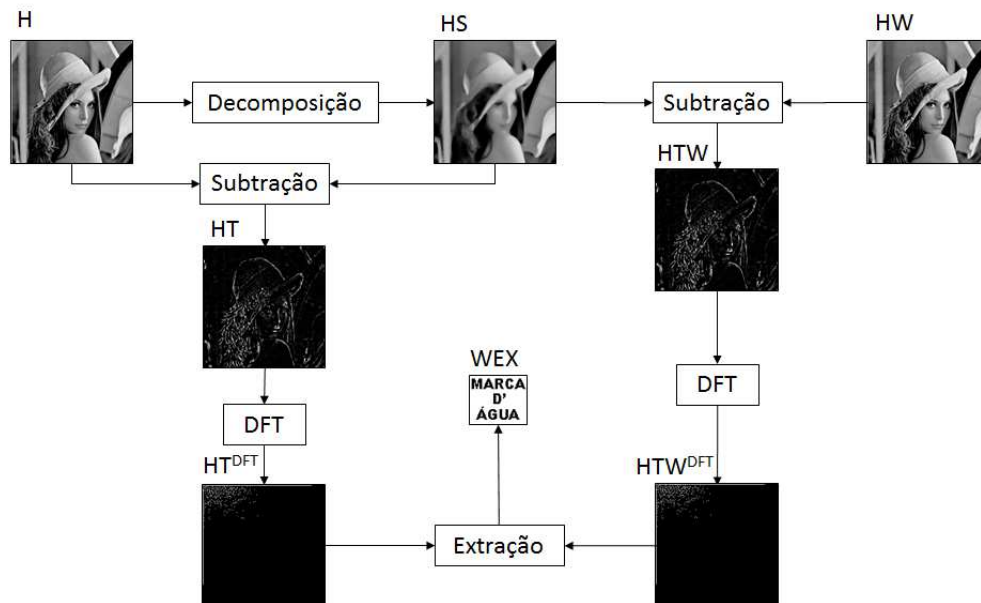
Para comparar os resultados da técnica de Cox *et al.* (1997) com a utilização da DFT, com a técnica utilizando o método MARDI, uma marca d'água  $W$ , apenas com valores 0 e 255, de tamanho  $32 \times 32$  píxeis, foi inserida em uma imagem original  $H$  em níveis de cinza, de tamanho  $512 \times 512$  píxeis. Após a inserção da marca  $W$  pelos dois métodos, as imagens marcadas  $HW$  sofreram ataques (compressão JPEG 90%, 70%, 50%, 30%, 20%, 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano). Para comparar a robustez das técnicas, foi calculado o  $NCC$  das imagens marcadas  $HW$  e das marcas d'água extraídas

**Figura 48** – Fluxograma de inserção do método MARDI, utilizando DFT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 49** – Fluxograma de extração do método MARDI, utilizando DFT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

*WEX*.

O valor de *NCC* das imagens marcadas foi de 0,9992 para ambas as técnicas, os valores de *NCC* de cada marca d'água extraída são apresentados tanto na Tabela 5 como no gráfico apresentado na Figura 51.

Os resultados dos testes obtidos pelas duas técnicas podem ser visualizados na Figura 50.



**Figura 50** – Resultados obtidos com a implementação da técnica de Cox *et al.* com a utilização da DFT.



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - COX(DFT).



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - COX(DFT).



(e) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - MARDI.



(f) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - MARDI.



(g) Atacada (JPEG 90%) e Marca Extraída - COX(DFT).



(h) Atacada (JPEG 70%) e Marca Extraída - COX(DFT).



(i) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - MARDI.



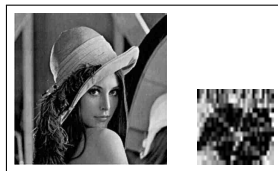
(j) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - MARDI.



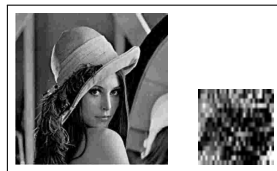
(k) Atacada (JPEG 50%) e Marca Extraída - COX(DFT).



(l) Atacada (JPEG 30%) e Marca Extraída - COX(DFT).



(m) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - MARDI.



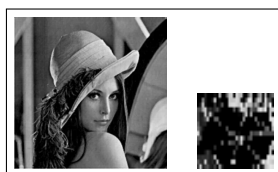
(n) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - MARDI.



(o) Atacada (JPEG 20%) e Marca Extraída - COX(DFT).



(p) Atacada (JPEG 10%) e Marca Extraída - COX(DFT).



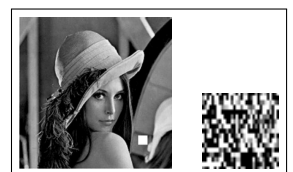
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI.



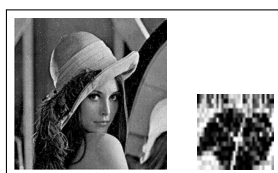
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - COX(DFT).



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - COX(DFT).



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - COX(DFT).



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - COX(DFT).

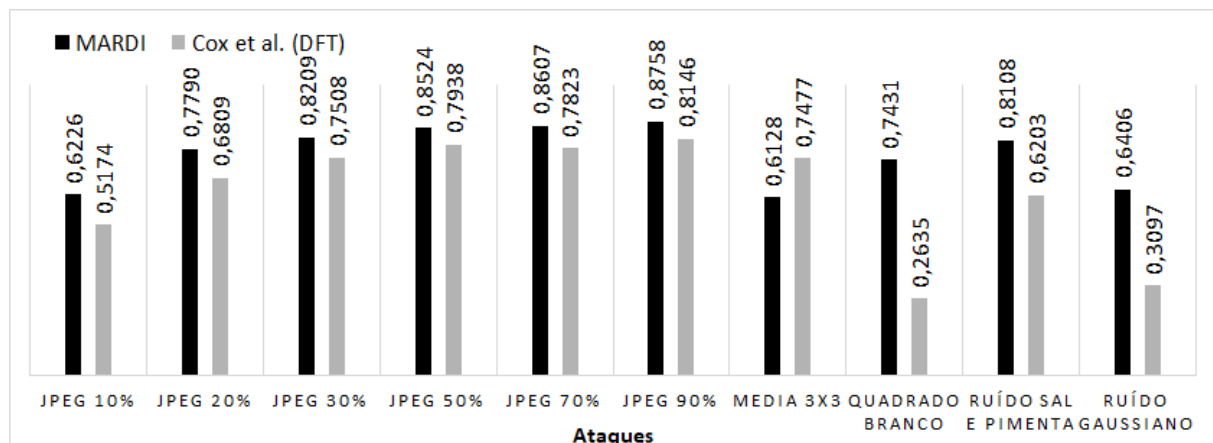
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Tabela 5** – Valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox et al. (1997) com a utilização da DFT.

Ataques	MARDI	Cox et al. (DFT)
JPEG 90%	0,8758	0,8146
JPEG 70%	0,8607	0,7823
JPEG 50%	0,8524	0,7938
JPEG 30%	0,8209	0,7508
JPEG 20%	0,7790	0,6809
JPEG 10%	0,6226	0,5174
Média 3 × 3	0,6128	0,7477
Quadrado Branco	0,7431	0,2635
Ruído Sal e Pimenta	0,8108	0,6203
Ruído Gaussiano	0,6406	0,3097

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 51** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d'água extraídas pelas técnicas MARDI e de Cox et al. (1997) com a utilização da DFT.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Mais uma vez, tanto pelos resultados dos valores de similaridade NCC entre as marcas d'água extraídas e a marca d'água original, quanto visualmente, é possível perceber que a aplicação do método MARDI aumentou a robustez da técnica de marca d'água em questão, chegando a ser até 47% mais robusto (inserção de quadrado branco).

O resultado deste teste, somado aos resultados dos outros quatro testes, ajuda a comprovar que a utilização do método MARDI pode melhorar significativamente a robustez das técnicas de marca d'água digital.

A partir dos estudos realizados sobre as técnicas de marca d'água digital e com a confirmação de que MARDI aumenta a robustez de tais técnicas, um outro objetivo deste trabalho pôde ser desenvolvido. Uma nova técnica de marca d'água digital robusta foi desenvolvida utilizando a transformada discreta de *wavelets*, a decomposição de imagens e a transformada discreta do cosseno. Tais operações possibilitaram uma melhor seleção dos componentes mais significativos da imagem, condição que pode proporcionar robustez para técnicas de marca d'água. Um novo teste foi realizado, comparando os resultados da nova técnica com e sem MARDI.

Os algoritmos de inserção e extração da marca d'água pela nova técnica, que recebe o nome de MARDI-DWT-DCT, assim como os resultados obtidos, são apresentados no próximo capítulo.

## 6 MARCA D'ÁGUA ROBUSTA VIA DECOMPOSIÇÃO DE IMAGENS UTILIZANDO A TRANSFORMADA DISCRETA DE WAVELETS E A TRANSFORMADA DISCRETA DO COSSENO - MARDI-DWT-DCT

A técnica proposta, denominada MARDI-DWT-DCT, que tem como objetivo inserir uma marca d'água em uma imagem digital de forma robusta, consiste em selecionar os componentes mais significativos de uma imagem original para receber a marca d'água. Para selecionar esses componentes, utiliza-se:

- **Transformada discreta de *wavelets*:** que divide a imagem original em 4 bandas (LL, HL, LH e HH), e então a banda LL é utilizada no processo de inserção da marca d'água.
- **Decomposição de imagens:** que separa uma imagem em parte estrutural e parte de detalhes. A decomposição é aplicada sobre a banda LL, obtida com a DWT.
- **Transformada discreta do cosseno:** que agrupa os componentes mais significativos de uma imagem. A DCT é aplicada sobre a banda de detalhes LL e seus  $N$  componentes mais significativos são utilizados para inserir a marca d'água.

Os métodos de inserção e extração da marca d'água são realizados de acordo com os passos apresentados nas Seções 6.1 e 6.2, respectivamente.

### 6.1 MÉTODO DE INSERÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA MARDI-DWT-DCT

Considere que  $H$  é uma imagem original em níveis de cinza de tamanho  $512 \times 512$  píxeis e que  $W$  é outra imagem em níveis de cinza, de tamanho  $32 \times 32$  píxeis, utilizada como marca d'água.

1. Aplique a DWT sobre a imagem original  $H$ , obtendo as quatro bandas no domínio *wavelet*  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ ;

2. Aplique a decomposição de imagens, como apresentado no Capítulo 4, sobre a banda  $LL$ , gerando  $HSLL$ , que é a banda  $LL$  suavizada;
3. Faça a subtração  $LL - HSLL$ , obtendo  $HTLL$ , que são os componentes de detalhes (texturas, borda e ruídos) da banda  $LL$ ;
4. Efetue a DCT em  $HTLL$ , obtendo a banda  $HTLL$  no domínio da frequência, denominada  $HTLL^{DCT}$ ;
5. Uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos de  $HTLL^{DCT}$  é extraída e denotada por  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ;
6. A marca d'água é transformada em um vetor  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ , que será inserido em  $V$ , utilizando a Equação ( 22), gerando uma nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ ,

$$v'_i = v_i(1 + \alpha w_i), \quad (22)$$

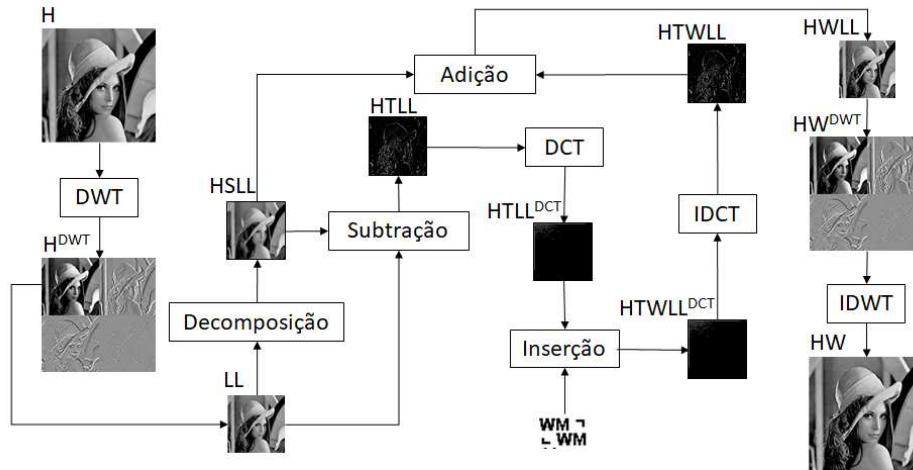
sendo  $\alpha$  é um fator escalar, que vai determinar a intensidade em que  $W$  vai alterar  $HTLL$ ;

7. A sequência  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ , é substituída pela nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ , obtendo  $HTWLL^{DCT}$ , que é a banda  $HTLL^{DCT}$  marcada no domínio da frequência;
8. A inversa da DCT é efetuada em  $HTWLL^{DCT}$ , obtendo  $HTWLL$ , que é a banda  $HTLL$  marcada;
9. Some as bandas  $HTWLL + HSLL$ , gerando a banda  $HWLL$ , que é a banda  $LL$  marcada;
10. Aplique a inversa da DWT utilizando as bandas  $HWLL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ , gerando a imagem marcada  $HW$ .

Na Figura 52 é apresentado um fluxograma do processo de inserção da marca d'água pela técnica MARDI-DWT-DCT. Primeiro é aplicada a DWT na imagem original. A banda  $LL$  é decomposta em parte estrutural e parte de detalhes, a DCT é aplicada sobre a parte de detalhes, que recebe a marca d'água. A inversa da transformada discreta do cosseno (IDCT - *Inverse Discrete Cosine Transform*) é aplicada sobre a parte de detalhes marcada, que então é somada à parte estrutural. A inversa da transformada discreta de *wavelets* (IDWT - *Inverse Discrete Wavelets Transform*) é aplicada, gerando a imagem marcada.

O processo de extração da marca d'água é o inverso da inserção e é descrito na próxima seção.

**Figura 52** – Fluxograma de inserção da técnica MARDI-DWT-DCT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 6.2 MÉTODO DE EXTRAÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA MARDI-DWT-DCT

No processo de extração da marca d'água, são utilizadas as imagens original  $H$  e marcada  $HW$ .

Para obter a marca d'água extraída, denominada  $WEX$ , os seguintes passos devem ser seguidos:

1. Aplique a DWT sobre a imagem original  $H$ , obtendo as quatro bandas no domínio *wavelet*  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ ;
2. Aplique a decomposição de imagens, como apresentado no Capítulo 4, sobre a banda  $LL$ , gerando  $HSLL$ , que é a banda  $LL$  suavizada;
3. Faça a subtração  $LL - HSLL$ , obtendo  $HTLL$ , que são os componentes de detalhes (texturas, borda e ruídos) da banda  $LL$ ;
4. Efetue a DCT em  $HTLL$ , obtendo a banda  $HTLL$  no domínio da frequência, denominada  $HTLL^{DCT}$ ;
5. Aplique a DWT sobre a imagem marcada  $HW$ , obtendo as quatro bandas de *wavelets*  $HWLL$ ,  $HWHL$ ,  $HWLH$  e  $HWHH$ ;

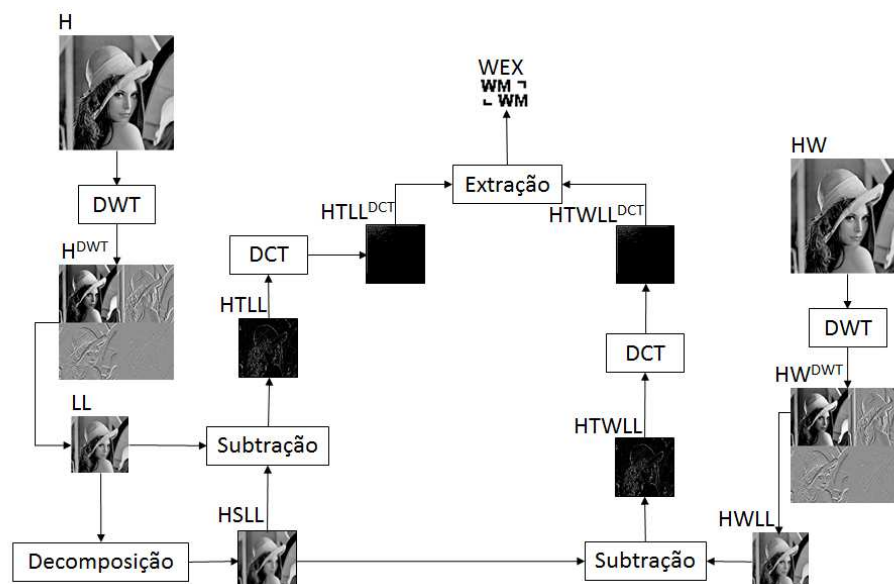
6. Faça a subtração  $HWLL - HSLL$ , obtendo  $HTWLL$ , que são os componentes de detalhes (texturas, borda e ruídos) da banda  $HWLL$ ;
7. Efetue a DCT em  $HTWLL$ , obtendo a banda  $HTWLL$  no domínio da frequência, denominada  $HTWLL^{DCT}$ ;
8. A marca d'água extraída  $WEX$ , é obtida pela diferença entre as duas imagens  $HTWLL^{DCT}$  e  $HTLL^{DCT}$ , calculada por meio da Equação (23), que é a inversa da equação utilizada no processo de inserção

$$WEX_i = \frac{vhtw_i - 1}{\alpha}, \quad (23)$$

sendo  $VHTW$  uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da banda de detalhes marcada  $HTWLL^{DCT}$  e  $VHT$  outra sequência, com os  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da banda de detalhes também no domínio da frequência  $HTLL^{DCT}$ .

Na Figura 53, é apresentado um fluxograma do processo de extração da marca d'água pela técnica MARDI-DWT-DCT.

**Figura 53** – Fluxograma de extração da técnica MARDI-DWT-DCT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No processo de extração, a DWT é aplicada tanto na imagem original, como na imagem marcada. As bandas  $LL$  de ambas as imagens são decompostas em parte estrutural e parte de detalhes, a DCT é aplicada sobre a parte de detalhes tanto da

imagem marcada como da imagem original, para que seja feita a extração da marca d'água.

Com o objetivo de medir o desempenho da técnica proposta, vários testes foram realizados. Nestes testes, outra versão da técnica MARDI-DWT-DCT foi desenvolvida, porém, sem a decomposição de imagens, esta versão recebeu o nome DWT-DCT.

O processo de inserção e extração da técnica DWT-DCT é apresentado nas Seções 6.3 e 6.4, respectivamente. Os processos são bastante similares aos processos de inserção e extração da técnica MARDI-DWT-DCT e só foram desenvolvidos para verificar a robustez que a decomposição de imagens pode proporcionar.

### 6.3 MÉTODO DE INSERÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA DWT-DCT

Para realizar a inserção da marca d'água com a técnica DWT-DCT, considere que  $H$  é uma imagem original em níveis de cinza de tamanho  $512 \times 512$  píxeis e que  $W$  é outra imagem em níveis de cinza, de tamanho  $32 \times 32$  píxeis, utilizada como marca d'água.

1. Aplique a DWT sobre a imagem original  $H$ , obtendo as quatro bandas no domínio *wavelets*  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ ;
2. Efetue a DCT em  $LL$ , obtendo a banda  $LL$  no domínio da frequência, denominada  $LL^{DCT}$ ;
3. Uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos de  $LL^{DCT}$  é extraída e denotada por  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ;
4. A marca d'água é transformada em um vetor  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ , que será inserido em  $V$ , utilizando a Equação (24), gerando uma nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ ,

$$v'_i = v_i(1 + \alpha w_i), \quad (24)$$

sendo  $\alpha$  é um fator escalar, que vai determinar a intensidade em que  $W$  vai alterar  $LL$ ;

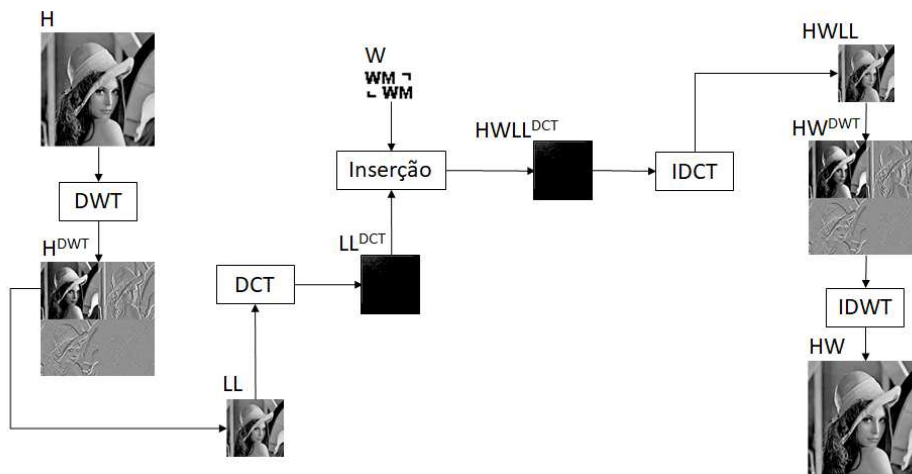
5. A sequência  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  é substituída pela nova sequência  $V' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ , obtendo  $HWLL^{DCT}$ , que é a banda  $LL^{DCT}$  marcada no domínio da frequência;
6. A inversa da DCT é efetuada em  $HWLL^{DCT}$ , obtendo  $HWLL$ , que é a banda  $LL$  marcada;



7. Aplique a inversa da DWT utilizando as bandas  $HWLL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ , gerando a imagem marcada  $HW$ .

Um fluxograma do processo de inserção da marca d'água pela técnica DWT-DCT é apresentado na Figura 54. A DWT é aplicada na imagem original  $H$ , gerando as quatro bandas de *wavelets*  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ . A DCT é aplicada sobre a banda  $LL$ , que recebe a marca d'água  $W$ . A IDCT é aplicada sobre a banda marcada e então, a IDWT é aplicada, gerando a imagem marcada.

**Figura 54** – Fluxograma de inserção da técnica DWT-DCT.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

#### 6.4 MÉTODO DE EXTRAÇÃO DA MARCA D'ÁGUA PELA TÉCNICA DWT-DCT

O processo de extração da marca d'água pela técnica DWT-DCT também é similar ao da técnica MARDI-DWT-DCT. Logo, para extrair a marca d'água  $WEX$ , as imagens original  $H$  e marcada  $HW$  são utilizadas.

Para obter a marca d'água extraída,  $WEX$ , os seguintes passos devem ser seguidos:

1. Aplique a DWT sobre a imagem original  $H$ , obtendo as quatro bandas no domínio *wavelets*  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$  e  $HH$ ;
2. Efetue a DCT em  $LL$ , obtendo a banda  $LL$  no domínio da frequência, denominada  $LL^{DCT}$ ;
3. Aplique a DWT sobre a imagem marcada  $HW$ , obtendo as quatro bandas no domínio *wavelets*  $HWLL$ ,  $HWHL$ ,  $HWLH$  e  $HWHH$ ;

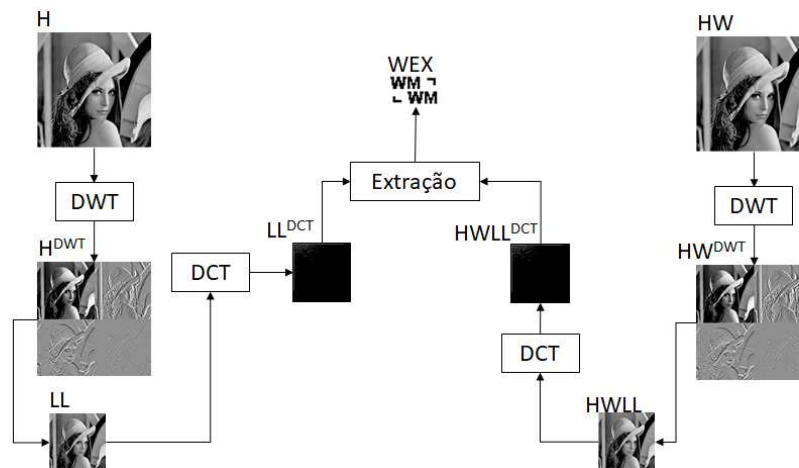
4. Efetue a DCT em  $HWLL$ , obtendo a banda  $HWLL$  no domínio da frequência, denominada  $HWLL^{DCT}$ ;
5. A marca d'água extraída  $WEX$ , é obtida pela diferença entre as duas imagens  $HWLL^{DCT}$  e  $LL^{DCT}$ , calculada por meio da Equação (25), que é a inversa da equação utilizada no processo de inserção,

$$WEX_i = \frac{vhtw_i - 1}{\alpha}, \quad (25)$$

sendo  $VHTW$  uma sequência dos  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da banda de detalhes marcada  $HWLL^{DCT}$  e  $VHT$  outra sequência, com os  $N$  componentes perceptivelmente mais significativos da banda de detalhes também no domínio da frequência  $LL^{DCT}$ .

Na Figura 55 é apresentado um fluxograma que ilustra o processo de extração da marca d'água pela técnica DWT-DCT. A DWT é aplicada tanto na imagem original como na imagem marcada. A DCT é aplicada sobre a banda LL tanto da imagem marcada como da imagem original, para que seja feita a extração da marca d'água extraída.

**Figura 55** – Fluxograma de extração da técnica DWT-DCT.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Várias imagens originais e marcas d'água foram utilizadas para medir o desempenho das técnicas apresentadas neste capítulo. Os resultados obtidos podem ser vistos na próxima seção.

## 6.5 RESULTADOS E COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS MARDI-DWT-DCT E DWT-DCT

Para o teste, foram utilizadas imagens em níveis de cinza tanto para imagem original  $H$ , como para a marca d'água  $W$ . Seguindo o mesmo padrão dos testes realizados com outras técnicas e apresentados nos outros capítulos. O tamanho das imagens originais foi de  $512 \times 512$  píxeis e as marcas  $W$  de  $32 \times 32$  píxeis.

Da mesma forma que nos testes realizados nos outros capítulos, a implementação das técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT foi realizado utilizando o Matlab. Após gerar imagens marcadas pelas duas técnicas, foram aplicados os seguintes ataques, compressão JPEG de 90%, 70%, 50%, 30%, 20% e 10%, filtragem média  $3 \times 3$ , inserção de um quadrado branco de tamanho  $30 \times 30$  píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano.

Para verificar a robustez da técnica MARDI-DWT-DCT, as marcas foram extraídas das imagens marcadas atacadas e comparadas com a marca d'água original. O coeficiente de correlação normalizado (NCC) também foi utilizado para medir a similaridade entre as imagens marcadas pelas duas técnicas e entre as marcas d'água extraídas e marca d'água original. O Valor NCC entre as imagens marcadas e a imagem original foi de 0,9992 em ambas as técnicas.

Seguindo a metodologia de apresentação de resultados deste trabalho, as imagens obtidas com a aplicação do teste de comparação entre as técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT podem ser visualizadas na Figura 56.

Os valores de NCC referentes a este teste podem ser visualizados na Tabela 6 e no gráfico apresentado na Figura 57.

É possível notar que os resultados obtidos pela técnica MARDI-DWT-DCT são relevantes, proporcionam robustez contra ataques de processamento digital de imagens, e comprovam que utilizar a decomposição de imagens para selecionar os locais onde uma marca d'água será inserida, pode aumentar muito a robustez de técnicas de marca d'água digital, neste exemplo esse aumento chegou a 26% (ruído gaussiano).

Visando garantir que a robustez alcançada no teste apresentado na Figura 56 possa ser obtida com outras imagens originais e com outras marcas d'água, o mesmo teste foi aplicado em outras 10 imagens originais (todas de tamanho  $512 \times 512$  píxeis) e com 4 marcas d'água distintas (todas de tamanho  $32 \times 32$  píxeis).

**Figura 56** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT.



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPEG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPEG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPEG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPEG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPEG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



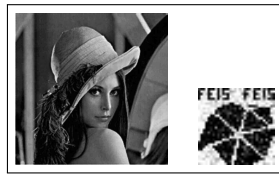
(j) Atacada (.JPEG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPEG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPEG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPEG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPEG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPEG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPEG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

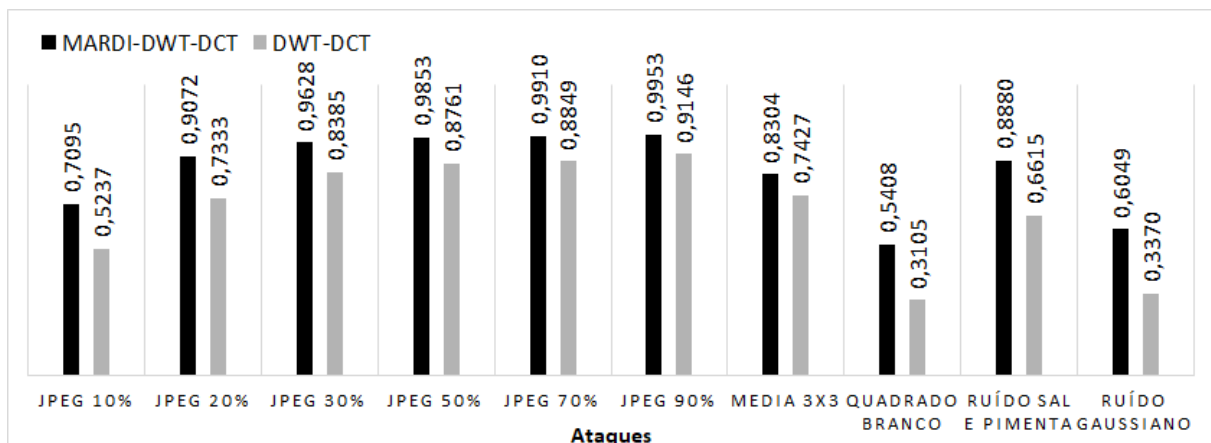
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Tabela 6** – Valores de similaridade (NCC) entre marcas d’água extraídas pelas técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT.

Ataques	MARDI-DWT-DCT	DWT-DCT
JPEG 90%	0,9953	0,9146
JPEG 70%	0,9910	0,8849
JPEG 50%	0,9853	0,8761
JPEG 30%	0,9628	0,8385
JPEG 20%	0,9072	0,7333
JPEG 10%	0,7095	0,5237
Média 3 × 3	0,8304	0,7427
Quadrado Branco	0,5408	0,3105
Ruído Sal e Pimenta	0,8880	0,6615
Ruído Gaussiano	0,6049	0,3370

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 57** – Gráfico com valores de similaridade (NCC) entre marcas d’água extraídas pelas técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT.

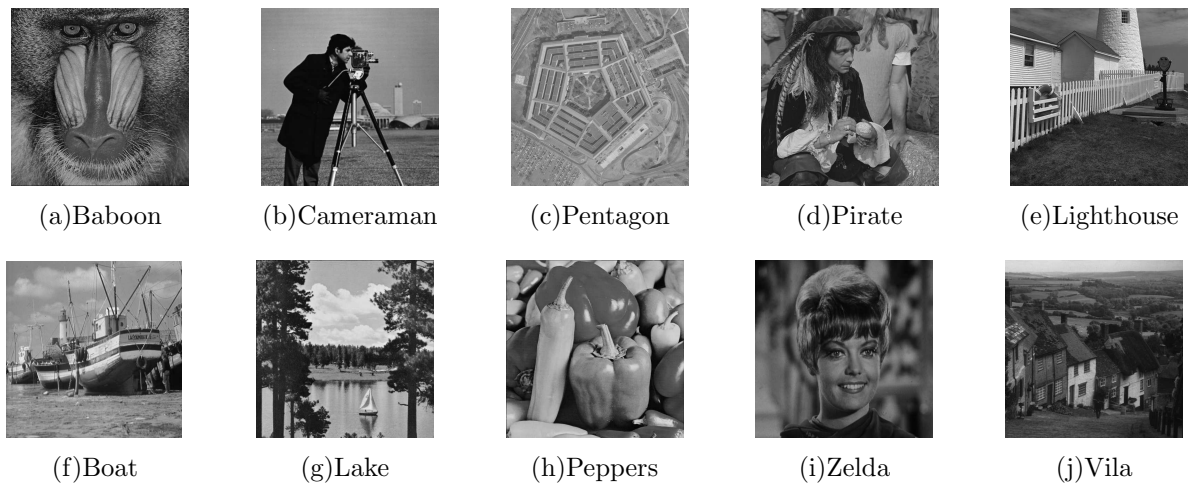


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As 10 imagens originais e as 4 marcas d’água podem ser visualizadas nas Figuras 58 e 59, respectivamente.

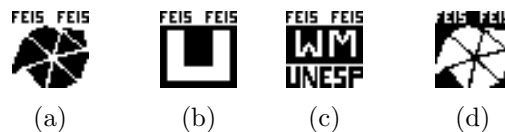
Após a realização dos testes com a técnica proposta, uma média dos valores de correlação de cada uma das marcas d’água, extraídas por ambos os métodos, de cada uma das imagens originais após sofrerem os ataques (compressão JPEG 10%, 20%, 30%, 50%, 70%, 90%, filtragem média 3 × 3, adição de um quadrado branco de tamanho 30 × 30 píxeis, adição de ruído sal e pimenta e adição de ruído gaussiano) é apresentada na Tabela 7. Os resultados comprovam que a técnica MARDI-DWT-DCT foi robusta a diversos ataques. A ênfase se dá aos ataques de compressão .JPEG. Pois, mesmo com altas taxas de compressão, foi possível obter marcas d’água extraídas com grande similaridade em

**Figura 58** – Imagens originais utilizadas nos testes da técnica MARDI-DWT-DCT.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 59** – Imagens utilizadas como marca d'água nos testes da técnica MARDI-DWT-DCT.



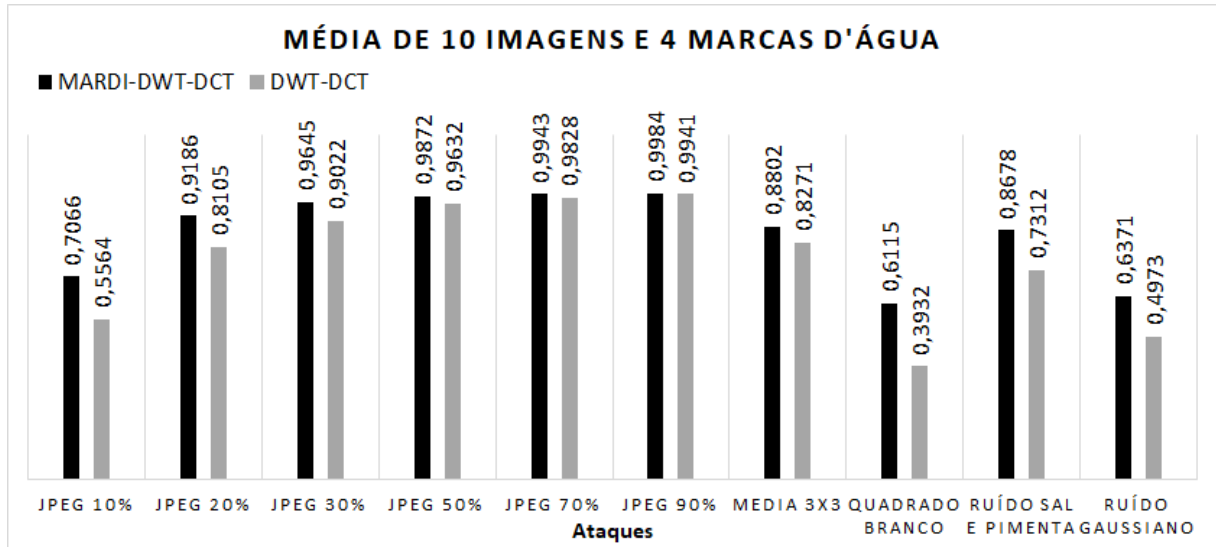
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

relação as marcas d'água originais, comprovadas pelos seus valores de NCC.

Um gráfico ilustrando os resultados da Tabela 7 é apresentado na Figura 60, onde é possível visualizar que a técnica MARDI-DWT-DCT, proporciona resultados significativos e que a utilização da decomposição de imagens, realmente pode proporcionar um aumento de robustez às técnicas de marca d'água digital. Isto porque as duas técnicas comparadas tiveram valores de NCC bastante distintos, até 20%, e a técnica com maior robustez, MARDI-DWT-DCT difere da outra apenas pela aplicação da decomposição de imagens.

Os resultados obtidos com os testes realizados com as 10 imagens originais e com as 4 marcas d'água apresentadas nas Figuras 58 e 59 podem ser visualizados no Apêndice.

**Figura 60** – Gráfico com a média dos valores de NCC das técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT, após serem aplicadas em 10 imagens originais, com 4 marcas d'água distintas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Tabela 7** – Tabela com a média dos valores de NCC das técnicas MARDI-DWT-DCT e DWT-DCT, após serem aplicadas em 10 imagens originais, com 4 marcas d'água distintas.

Ataques	(MÉDIA) MARDI-DWT-DCT	(MÉDIA) DWT-DCT
JPEG 90%	0,9984	0,9941
JPEG 70%	0,9943	0,9828
JPEG 50%	0,9872	0,9632
JPEG 30%	0,9645	0,9022
JPEG 20%	0,9186	0,8105
JPEG 10%	0,7066	0,5564
Média 3 × 3	0,8802	0,8271
Quadrado Branco	0,6115	0,3932
Ruído Sal e Pimenta	0,8678	0,7312
Ruído Gaussiano	0,6371	0,4973

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 7 CONCLUSÃO

Diversas técnicas de marca d'água digital foram e estão sendo propostas ao longo dos anos. A maioria dessas propostas têm sido feitas na área de marca d'água digital robusta. Entretanto, pelas pesquisas realizadas neste trabalho, verificou-se que um método 100% robusto ainda não foi desenvolvido. O que têm acontecido é o desenvolvimento de várias propostas de técnicas cada vez mais robustas a determinados tipos de ataques a imagens digitais.

Neste trabalho foi apresentado um método para aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital utilizando uma forma de decomposição de imagens. Esse método foi denominado MARDI (Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens). A idéia principal do método é decompor uma imagem original  $H$  em parte estrutural  $HS$  e parte de detalhes  $HT$  e, então, inserir uma marca d'água na parte de detalhes  $HT$ , gerando a imagem marcada  $HW$ .

O objetivo da decomposição foi aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital, visto que a decomposição gera uma parte de detalhes, que pode proporcionar maior robustez. Para alcançar este objetivo, foram testados alguns métodos de marca d'água digital e os métodos com a inclusão de MARDI mostraram-se mais eficientes, quando comparados com os métodos originais, comprovando que a decomposição de imagens aumentou a robustez das técnicas estudadas.

As técnicas utilizadas nos testes foram selecionadas por dois motivos: Primeiro, pelo fato das técnicas propostas por Cox *et al.* (1997) e por Koch e Zhao (1994) estarem entre as principais e propulsoras técnicas de marca d'água digital robusta. Segundo, pelo fato da técnica proposta por Lopes, *et al.* (2006a) fazer uma seleção de áreas com maior número de textura para inserir a marca d'água, o que tem relação com a proposta MARDI.

Dado à eficiência do método desenvolvido, e aos estudos realizados sobre marca d'água digital combinando duas ou mais transformadas de domínio, o trabalho foi estendido e uma nova técnica de marca d'água digital foi desenvolvida. Esta técnica recebeu o nome



de MARDI-DWT-DCT (Marca d'água Robusta via Decomposição de Imagens utilizando a Transformada Discreta de *Wavelets* e a Transformada Discreta do Cosseno).

Os resultados obtidos nos testes realizados comprovaram que a utilização da decomposição de imagens aliada a outras transformadas possibilita fazer uma boa seleção dos componentes mais significativos de uma imagem, proporcionando grande robustez.

Com a análise de todos os resultados obtidos e apresentados neste trabalho, conclui-se que a técnica MARDI-DWT-DCT proporciona boa robustez para imagens digitais e que a decomposição de imagens pode ser utilizada como uma ferramenta para aumentar a robustez de técnicas de marca d'água digital.

Um trabalho futuro a ser realizado é o desenvolvimento da técnica MARDI-DWT-DCT em FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*), que poderia conciliar a robustez proporcionada pela técnica MARDI-DWT-DCT, com o desempenho proporcionado pela possibilidade de paralelismo da FPGA. Esse desenvolvimento possibilitaria uma melhora no tempo de processamento da técnica, que devido a decomposição de imagens, leva até 2 minutos para inserção da marca d'água.

O esperado com o desenvolvimento da técnica em FPGA é que esse tempo seja menor e possibilite a criação de uma câmera digital segura utilizando MARDI-DWT-DCT.

## REFERÊNCIAS

AGGARWAL, E.; KAUR, E.; ANANTDEEP, E. et al. An efficient watermarking algorithm to improve payload and robustness without affecting image perceptual quality. **Journal of Computing**, [S.l.], v. 2, p. 105–109, 2010.

ANDALIBI, M.; CHANDLER, D. M. Digital image watermarking via adaptive logo texturization. **IEEE Transactions on Image Processing**, New York, v. 24, n. 12, p. 5060–5073, Dec 2015. ISSN 1057-7149.

ARAGHI, T. K.; MANAL, A. B. A.; ZAMANI, M.; ARAGHI, S. K. A survey on digital image watermarking technique in spatial and transform domains. **International Journal of Advances in Image Processing Techniques**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 6–10, 2016.

BAJRACHARYA, S.; KOJU, R. An improved dwt-svd based robust digital image watermarking for color image. **International Journal of Engineering and Manufacturing**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 49–59, 2017.

BALCI, S. E. **Robust watermarking of images**. 2003. 134 f. Dissertação (Mestrado) — Middle East Technical University, Ankara, 2003.

BERGHEL, H. Watermarking cyberspace. **Commun. ACM**, New York, v. 40, n. 11, p. 19–24, nov. 1997. ISSN 0001-0782.

CHEN, W.-Y.; CHEN, C.-H. A robust watermarking scheme using phase shift keying with the combination of amplitude boost and low amplitude block selection. **Pattern Recognition**, Ezmsford, v. 38, n. 4, p. 587 – 598, 2005. ISSN 0031-3203.

CHERIAN, J.; MEREENA; THOMAS, A. A survey on DWT and LWT based digital image watermarking. **International Journal of Research in Computer Applications & Information Technology**, [S.l.], v. 4, n. 3, p. 27–32, 2016.

COX, I. J.; KILIAN, J.; LEIGHTON, F. T.; SHAMOON, T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. **IEEE Transactions on Image Processing**, New York, v. 6, n. 12, p. 1673–1687, Dec 1997. ISSN 1057-7149.

ETEMAD, E.; SAMAVI, S.; SOROUSHMEHR, S. M. R.; KARIMI, N.; ETEMAD, M.; SHIRANI, S.; NAJARIAN, K. Robust image watermarking scheme using bit-plane of hadamard coefficients. **Multimedia Tools and Applications**, Dordrecht, v. 77, n. 2, p. 2033–2055, Jan 2018. ISSN 1573-7721.

FAZLALI, H. R.; SAMAVI, S.; KARIMI, N.; SHIRANI, S. Adaptive blind image watermarking using edge pixel concentration. **Multimedia Tools and Applications**, Dordrecht, v. 76, n. 2, p. 3105–3120, Jan 2017. ISSN 1573-7721.

- GIRI, K. J.; PEER, M. A.; NAGABHUSHAN, P. A robust color image watermarking scheme using discrete wavelet transformation. **International Journal of Image, Graphics and Signal Processing**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 47, 2014.
- HU, J.; SHAO, Y.; MA, W.; ZHANG, T. A robust watermarking scheme based on the human visual system in the wavelet domain. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING (CISP), 2015. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p. 799–803.
- HUANG, F.; GUAN, Z.-H. A hybrid SVD-DCT watermarking method based on LPSNR. **Pattern Recognition Letters**, Amsterdam, v. 25, n. 15, p. 1769 – 1775, 2004. ISSN 0167-8655.
- JABADE, V. S.; GENGAJE, D. S. R. Literature review of wavelet based digital image watermarking techniques. **International Journal of Computer Applications**, Citeseer, v. 31, n. 1, p. 28–35, 2011.
- JAIN, P.; GHANEKAR, U. Robust watermarking technique for textured images. [S.l.]. **Procedia Computer Science**, v. 125, p. 179 – 186, 2018. ISSN 1877-0509.
- JAIN, R.; KUMAR, M.; JAIN, A. K.; JAIN, M. Digital image watermarking using hybrid DWT-FFT technique with different attacks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS AND SIGNAL PROCESSING (ICCSP), 2015. 2015, [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2015. p. 0672–0675.
- JOSHI, A.; PATRIKAR, R.; MISHRA, V. **Real time implementation of digital watermarking algorithm for image and video application**. [S.l.]: Intech, 2012.
- KHAN, M. I.; SONI, S.; ACHARYA, B.; VERMA, S. Implementation of digital watermarking using VHDL. **Journal of Circuits, Systems and Computers**, Citeseer, v. 3, n. 1, p. 15–21, 2012.
- KOCH ECKHARD; ZHAO, J. Copyright protection for multimedia data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL MEDIA AND ELECTRONIC PUBLISHING, 1994. Leeds: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1994.
- KUSHWAH, V. R. S.; TIWARI, S.; GAUTAM, M. A review study on digital watermarking techniques. **Technical Research Organisation India**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 189–193, 2016.
- LANG, J.; ZHANG, Z. guang. Blind digital watermarking method in the fractional fourier transform domain. **Optics and Lasers in Engineering**, London, v. 53, p. 112 – 121, 2014. ISSN 0143-8166.
- LIU, J.; LIU, G.; HE, W.; LI, Y. A new digital watermarking algorithm based on wbct. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 29, p. 1559 – 1564, 2012. ISSN 1877-7058. 2012 International Workshop on Information and Electronics Engineering.
- LOPES, I. O.; BARCELOS, C. A. Z.; BATISTA, M. A.; SILVA, A. M. Enhanced watermarking scheme based on texture analysis. In: BLANC-TALON, J.; PHILIPS, W.; POPESCU, D.; SCHEUNDERS, P. (Ed.). **Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 746–756. ISBN 978-3-540-44632-3.

LOPES, I. O.; BARCELOS, C. A. Z.; BATISTA, M. A.; SILVA, A. d. M. Um sistema de marca d'água digital utilizando níveis de textura no processo de inserção. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND THEIR APPLICATIONS, 5., 2006. Guaratinguetá, **Anais...** Guaratinguetá: Dincon, 2006.

LOPES, I. O.; SILVA, A. C. R. da. Robust digital watermarking by image decomposition. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATICA (ICA-ACCA), 2016. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–10.

MACQ, B. M.; QUISQUATER, J. J. Cryptology for digital tv broadcasting. **Proceedings of the IEEE**, New York, v. 83, n. 6, p. 944–957, Jun 1995. ISSN 0018-9219.

MANIKANDA, p. S.; AYYASAMY, S. An efficient watermarking algorithm based on DWT and FFT approach. **International Journal on Computer Science and Engineering**, [S.l.], v. 6, n. 6, p. 211–216, 2014.

MEHTA, R.; RAJPAL, N. General regression neural network based image watermarking scheme using fractional dct-ii transform. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE INFORMATION PROCESSING, 2013. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013. p. 340–345.

NAIK, P. K.; TIGADI, A. S.; GUHILOT, H. Design and implementation of SDRAM controller based digital watermarking with combined DWT-DCT technique on FPGA. **International Journal of Scientific and Research Publications**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 1–7, 2015.

NARGUNDKAR, S. A digital watermarking technique using discrete wavelet transform. **International Journal of Innovative Research and Development**, [S.l.], v. 5, n. 2, 2016. ISSN 2278-0211.

NASRIN, M. M.; KHOO, B. E.; RASSEM, T. H. Block-based discrete wavelet transform singular value decomposition image watermarking scheme using human visual system characteristics. **Journals The Institution of Engineering and Technology**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 34–52, 2016.

NIKOLAIDIS, A.; PITAS, I. Region-based image watermarking. **IEEE Transactions on Image Processing**, New York, v. 10, n. 11, p. 1726–1740, Nov 2001. ISSN 1057-7149.

PARAH, S. A.; SHEIKH, J. A.; FARHANA, A.; A., L. N.; M., B. G. Information hiding in medical images: a robust medical image watermarking system for e-healthcare. **Multimedia Tools and Applications**, Dordrecht, v. 76, n. 8, p. 10599–10633, Apr 2017. ISSN 1573-7721.

PATHAK, S.; TIWARI, S.; AGRAWAL, S. Digital image watermarking in wavelet domain using chaotic sequence. **Futuristic Trends in Engineering, Science, Humanities, and Technology FTESHT-16**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 108 – 113, 2016.

QASIM, A. F.; MEZIANE, F.; ASPIN, R. Digital watermarking: Applicability for developing trust in medical imaging workflows state of the art review. **Computer Science Review**, [S.l.], v. 27, p. 45 – 60, 2018. ISSN 1574-0137.

- RUDIN, L. I.; OSHER, S.; FATEMI, E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms. **Phys. D**, Amsterdam, v. 60, n. 1-4, p. 259–268, nov. 1992. ISSN 0167-2789.
- SCHYNDEL, R. G. van; TIRKEL, A. Z.; OSBORNE, C. F. A digital watermark. In: PROCEEDINGS OF 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 1994. Austin: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1994. v. 2, p. 86–90.
- SHAIKH, S.; DESHMUKH, M. Digital image watermarking in DCT domain. **International Journal of Emerging Technology and Ad-vanced Engineering ISSN**, Citeseer, p. 2250–2459, 2013.
- SHETH, R. K.; NATH, V. V. Secured digital image watermarking with discrete cosine transform and discrete wavelet transform method. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, COMMUNICATION, & AUTOMATION (ICACCA), 2016. Dehradun: **Procedings...** [S.l.: s.n.], 2016. v. 2, p. 1–5.
- SHOEMAKER, C. **Hidden Bits: a survey of techniques for digital watermarking.** [S.l.], Spring, 2002.
- SINGH, A. K. Improved hybrid algorithm for robust and imperceptible multiple watermarking using digital images. **Multimedia Tools and Applications**, Dordrecht, v. 76, n. 6, p. 8881–8900, Mar 2017. ISSN 1573-7721.
- SINGH, Y. S.; DEVI, B. P.; SINGH, K. M. A review of different techniques on digital image watermarking scheme. **International Journal of Engineering Research**, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 193, 2013.
- SRIDEVI, T.; FATHIMA, S. S. Digital image watermarking using fuzzy logic approach based on DWT and SVD. **International Journal of Computer Applications**, [S.l.], v. 74, n. 13, 2013.
- SU, Q.; CHEN, B. Robust color image watermarking technique in the spatial domain. **Soft Computing**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 91–106, Jan 2018. ISSN 1433-7479.
- TAO, H.; CHONGMIN, L.; ZAIN, J. M.; ABDALLA, A. N. Robust image watermarking theories and techniques: A review. **Journal of Applied Research and Technology**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 122 – 138, 2014. ISSN 1665-6423.
- TODMAL, S.; PATIL, S. Enhancing the optimal robust watermarking algorithm to high payload. **The International Arab Journal of Information Technology**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 108–117, 2016.
- VESE, L. A.; OSHER, S. J. Modeling textures with total variation minimization and oscillating patterns in image processing. **Journal of Scientific Computing**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 553–572, Dec 2003. ISSN 1573-7691.
- WANG, Y.; BAI, X.; YAN, S. Digital image watermarking based on texture block and edge detection in the discrete wavelet domain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSOR NETWORK SECURITY TECHNOLOGY AND PRIVACY COMMUNICATION SYSTEM, 2013. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2013. p. 170–174.

WONG, P. W. A public key watermark for image verification and authentication. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING (ICIP98), 1998. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1998. v. 1, p. 455–459.

WU, Y.-T.; SHIH, F. Y. An adjusted-purpose digital watermarking technique. **Pattern Recognition**, Ezmsford, v. 37, n. 12, p. 2349 – 2359, 2004. ISSN 0031-3203.

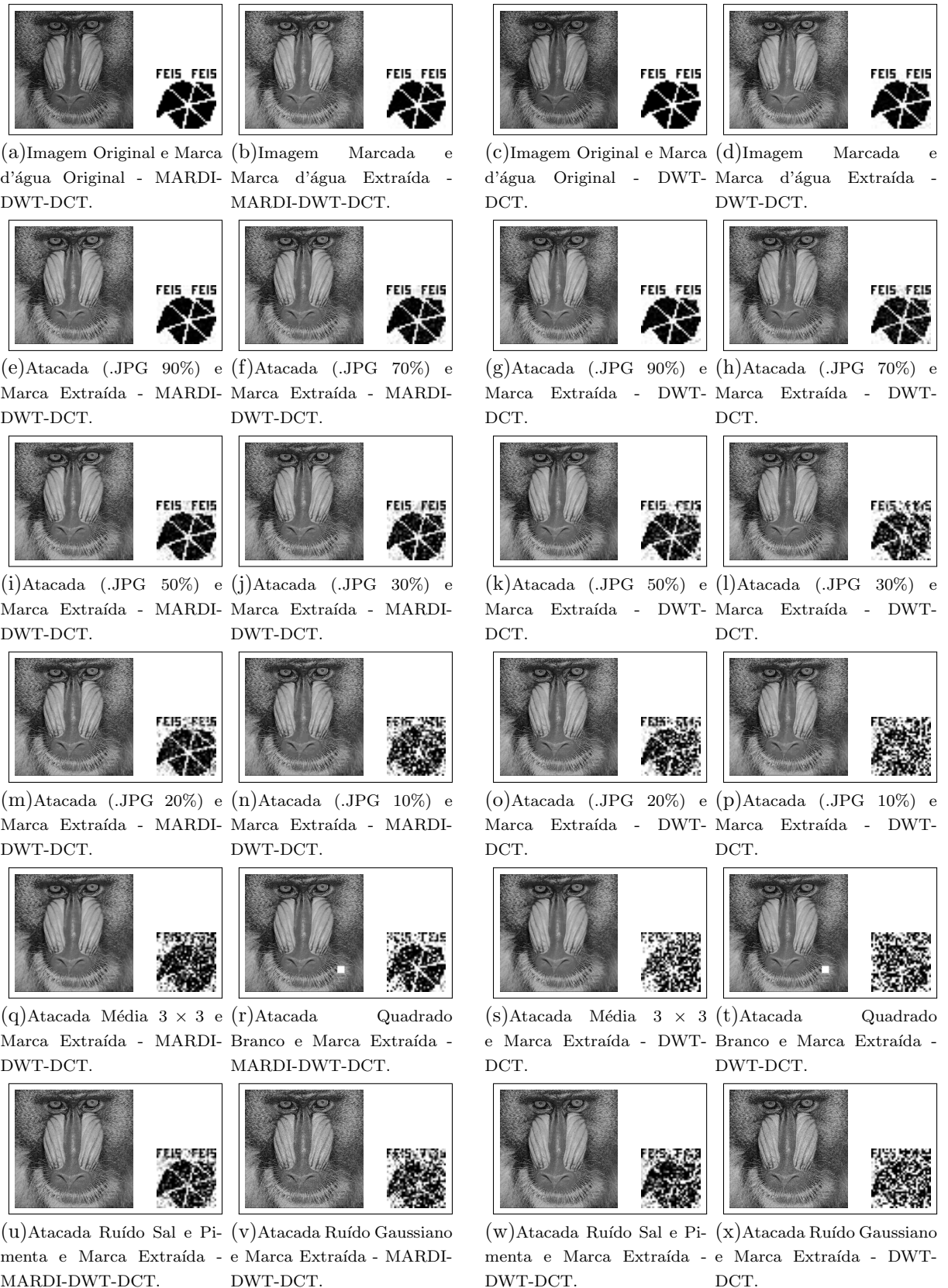
YEUNG, M. M.; MINTZER, F. An invisible watermarking technique for image verification. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING, 1997. [S.l.]: **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997. v. 2, p. 680–683.

ZHANG, X.-D.; FENG, J.; LO, K.-T. Image watermarking using tree-based spatial-frequency feature of wavelet transform. **Journal of Visual Communication and Image Representation**, Ezmsford, v. 14, n. 4, p. 474 – 491, 2003. ISSN 1047-3203.

ZHAO, J.; FAN, S.; JIA, J.; ZHANG, S.; JIANG, B.; XU, W.; ZHANG, W. Texture directionality-based digital watermarking in nonsubsample shearlet domain. **Mathematical Problems in Engineering**, [S.l.], v. 2017, p. 1–14, 06 2017.

**APÊNDICE A - RESULTADOS DE  
COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS  
MARDI-DWT-DCT E DWT-DCT APLICADAS  
EM 10 IMAGENS ORIGINAIS, COM 4 MARCAS  
D'ÁGUA.**

**Figura 61** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 1).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 62** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 2).



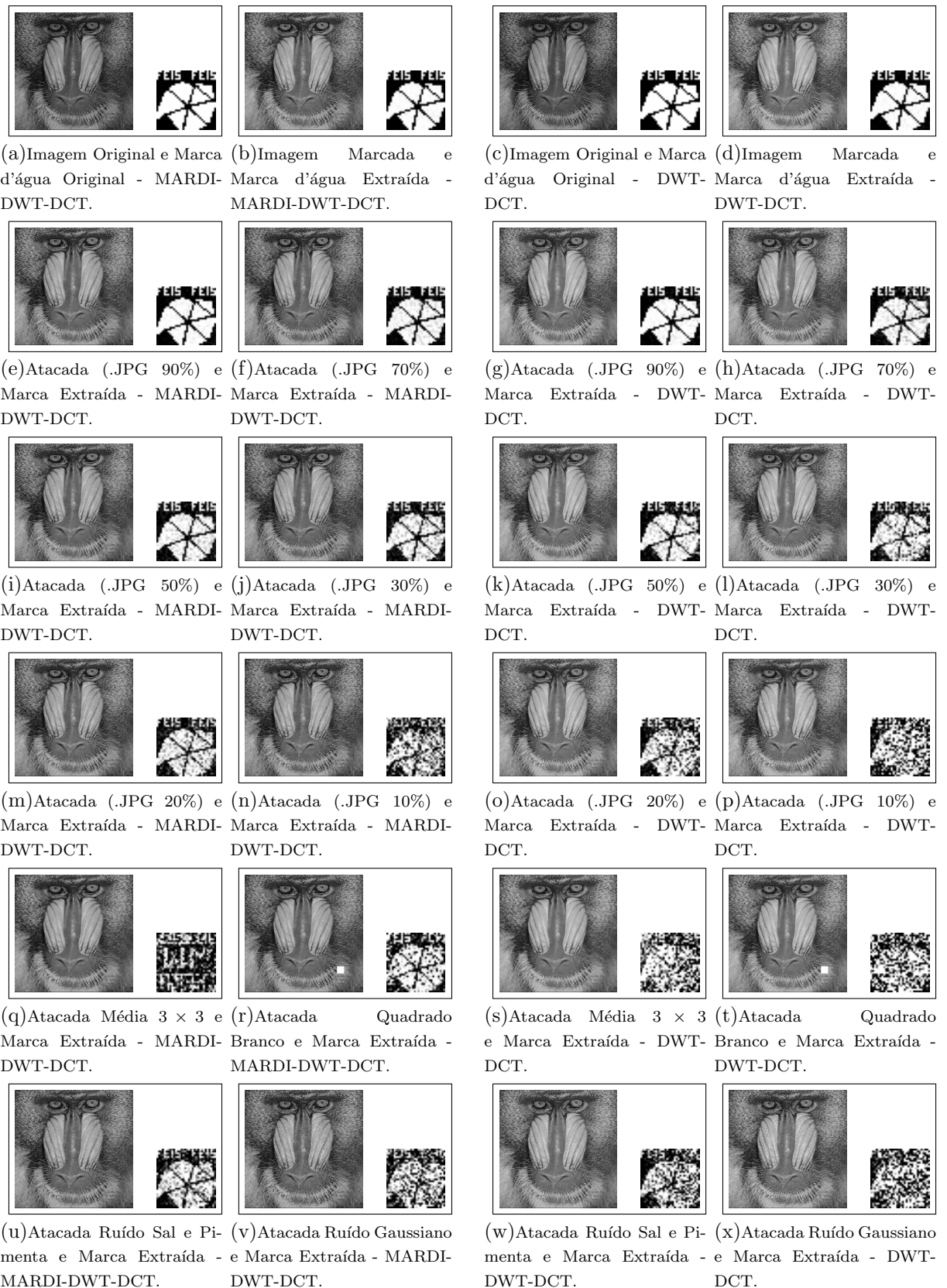
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 63** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 3).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 64** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BABOON - MARCA 4).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 65** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



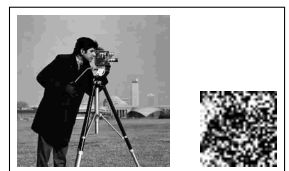
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



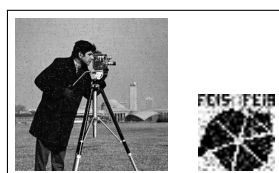
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



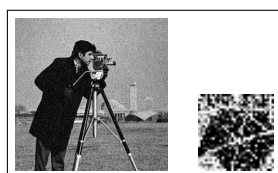
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



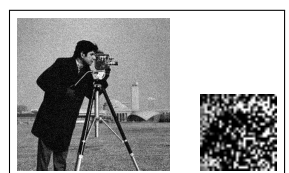
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 66** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



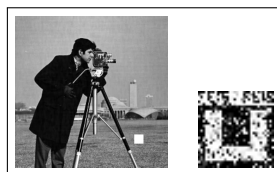
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



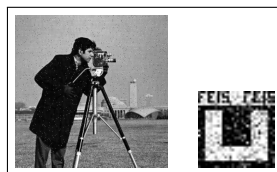
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



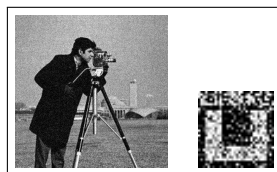
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



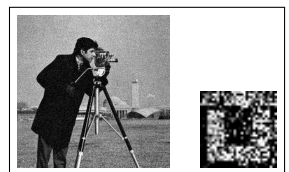
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 67** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



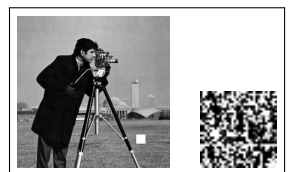
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



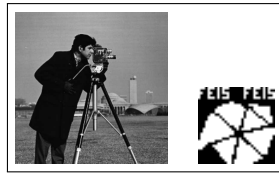
(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



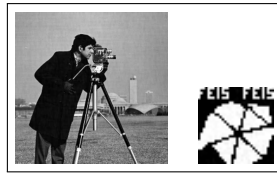
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 68** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (CAMERAMAN - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



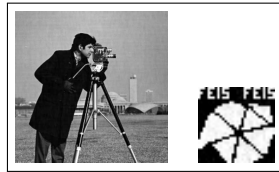
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



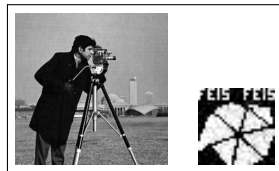
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



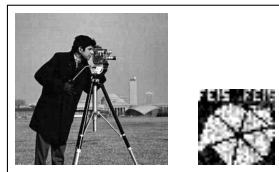
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



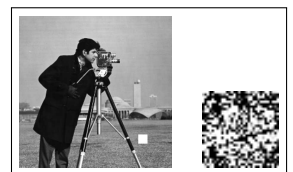
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



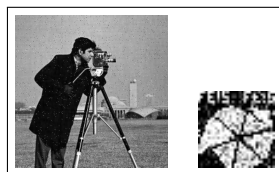
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



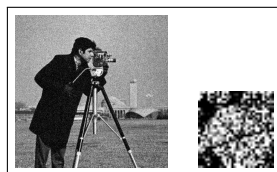
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



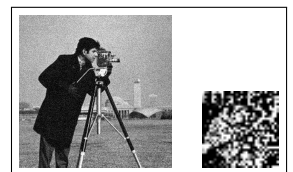
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



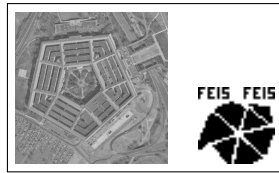
(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



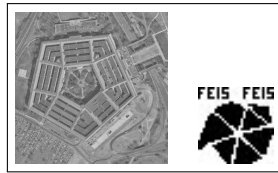
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

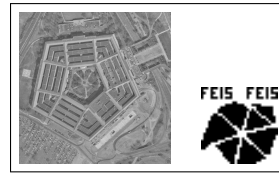
**Figura 69** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 1).



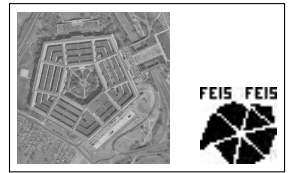
(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



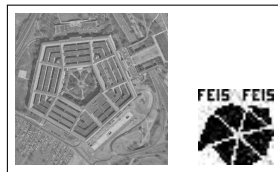
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



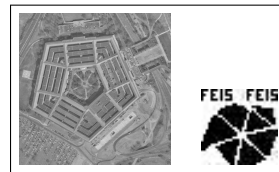
(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



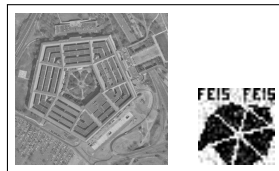
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



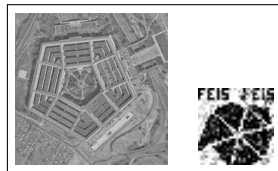
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



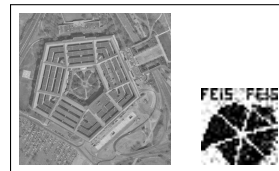
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



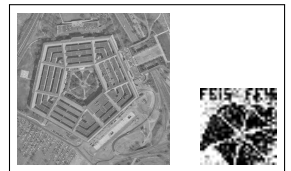
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



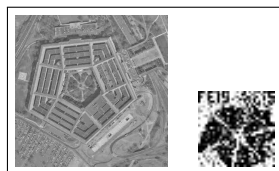
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



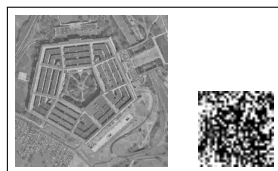
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



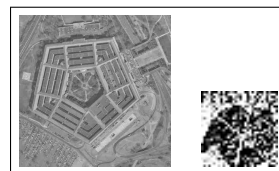
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



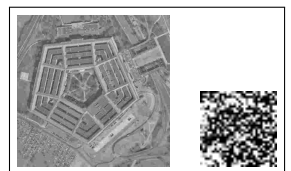
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



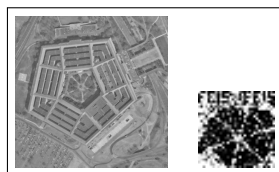
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



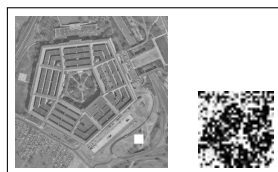
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



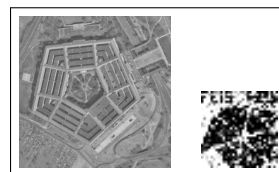
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



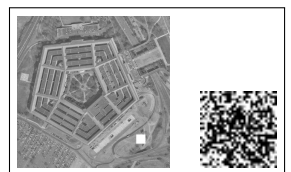
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



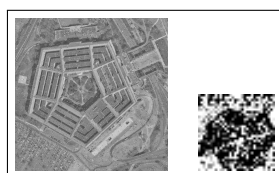
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



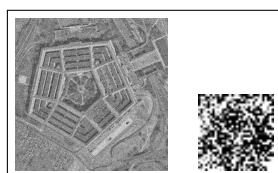
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



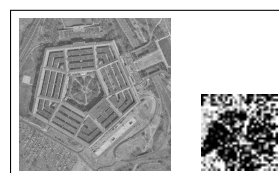
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



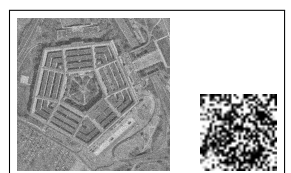
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 70** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



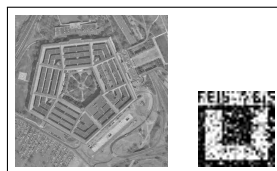
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



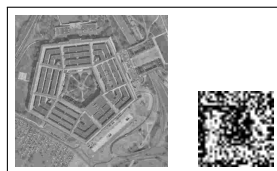
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



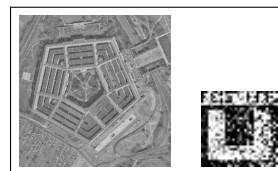
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



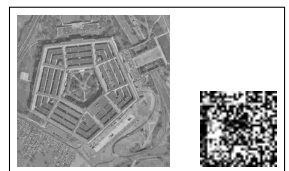
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



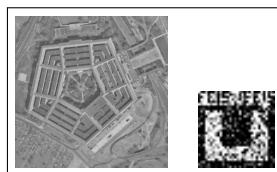
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



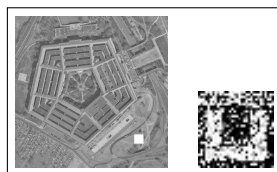
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



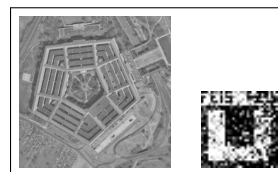
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



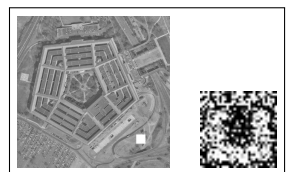
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



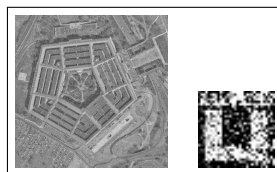
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



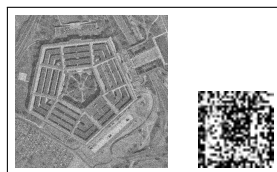
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



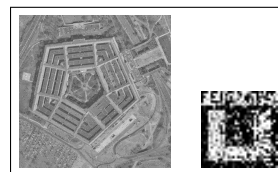
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



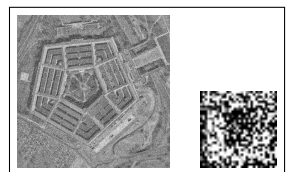
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 71** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



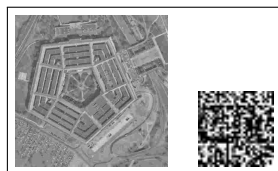
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



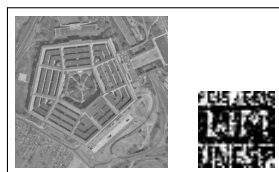
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



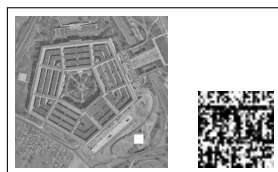
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



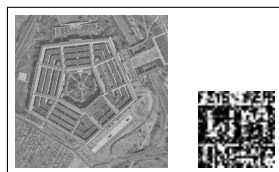
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



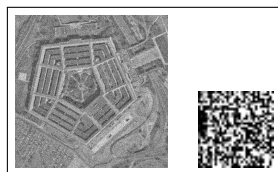
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



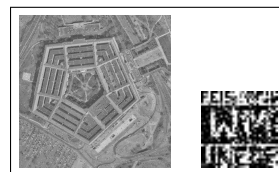
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



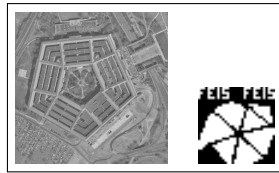
(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



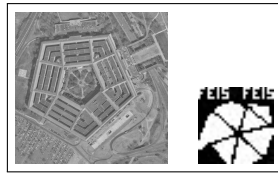
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

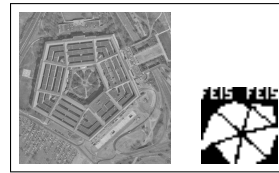
**Figura 72** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PENTAGON - MARCA 4).



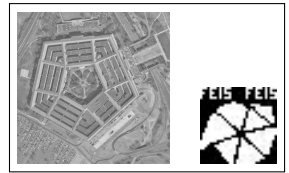
(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



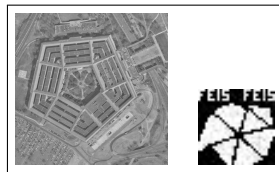
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



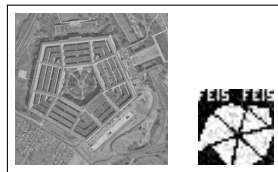
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



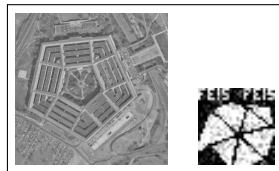
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



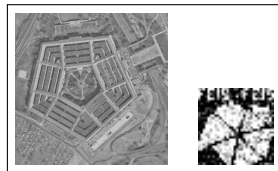
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



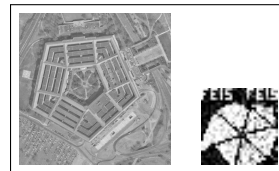
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



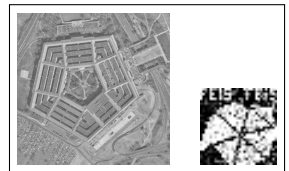
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



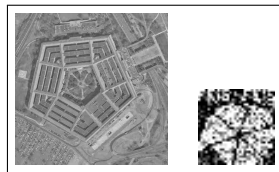
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



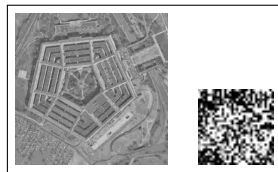
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



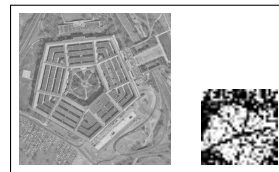
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



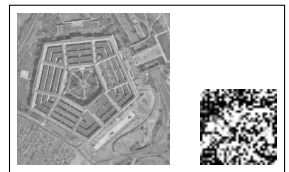
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



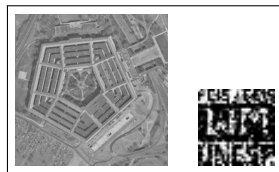
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



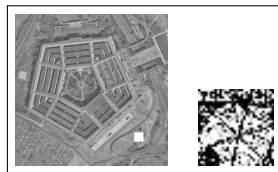
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



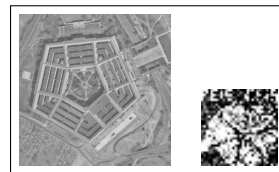
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



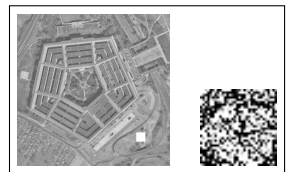
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



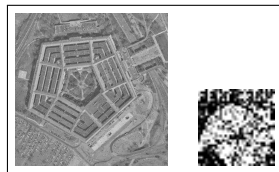
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



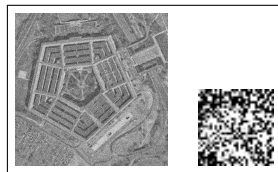
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



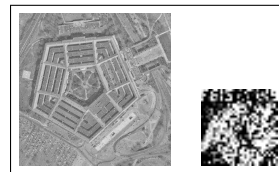
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



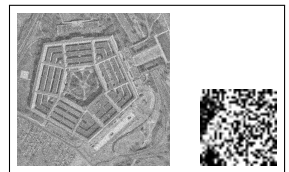
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 73** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



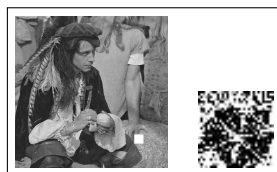
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



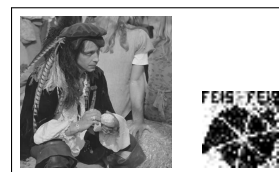
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



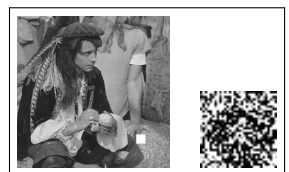
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



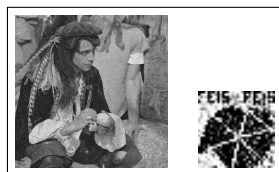
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



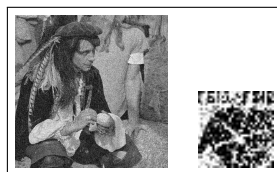
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



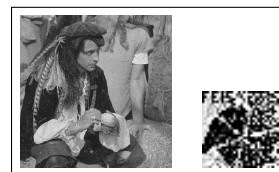
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



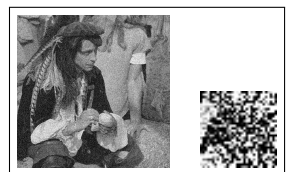
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 74** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



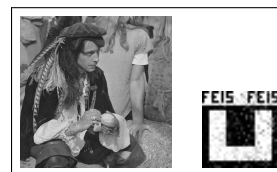
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



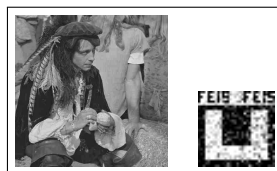
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



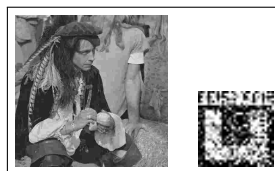
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



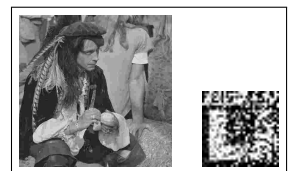
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



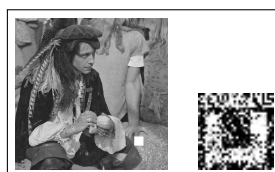
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



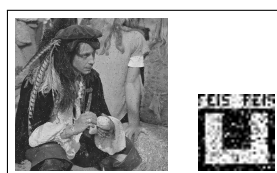
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



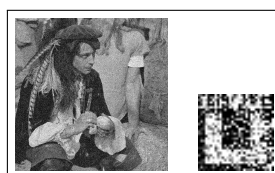
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



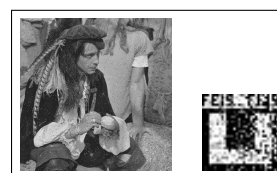
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

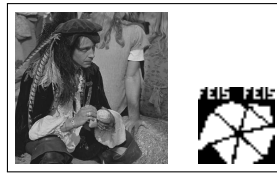
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 75** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 3).

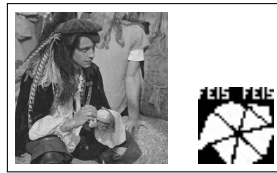


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 76** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PIRATE - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



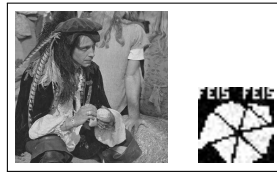
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



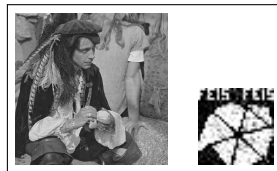
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



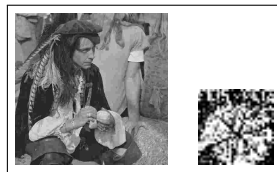
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



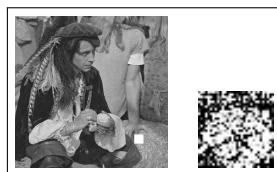
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



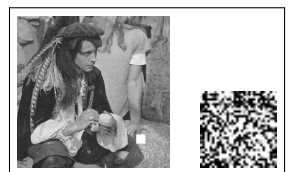
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



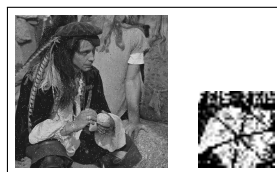
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



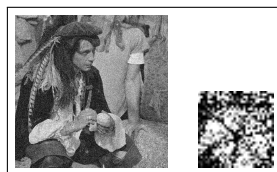
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



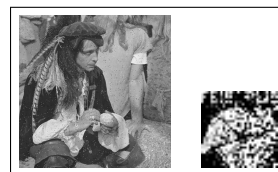
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



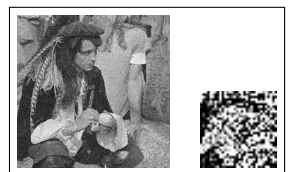
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



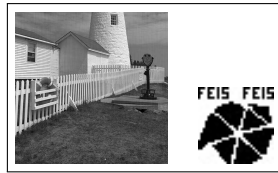
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 77** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 1).



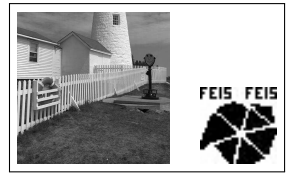
(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



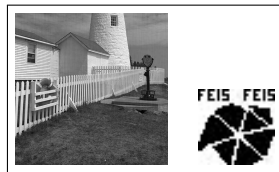
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



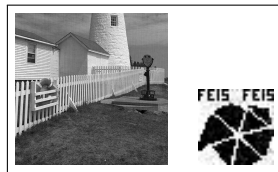
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



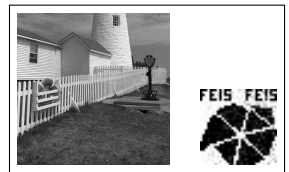
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



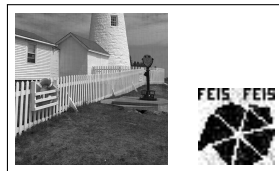
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



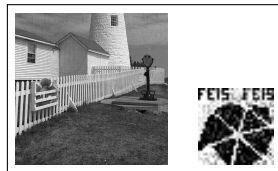
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



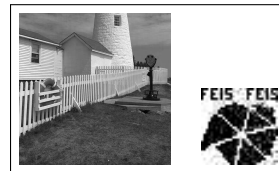
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



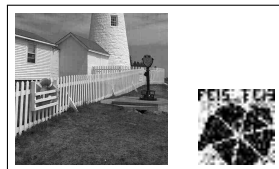
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



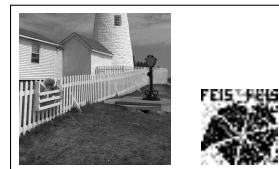
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



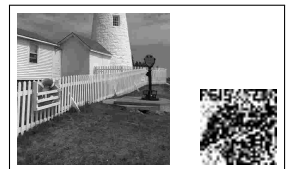
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



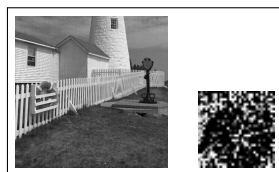
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



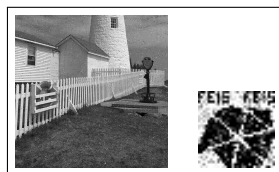
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



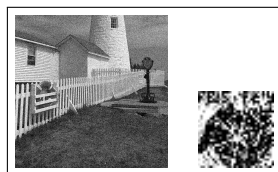
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



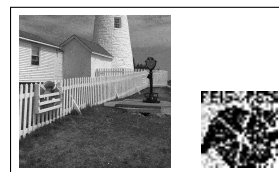
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



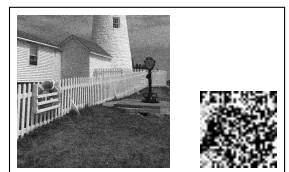
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

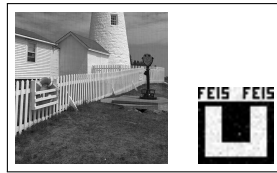
**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 78** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



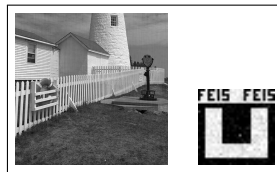
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



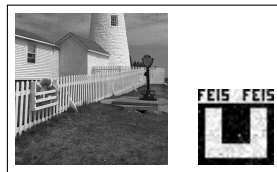
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



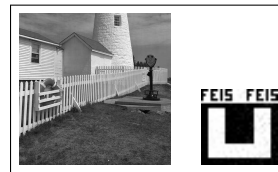
(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



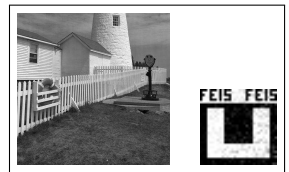
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



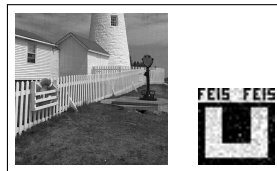
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



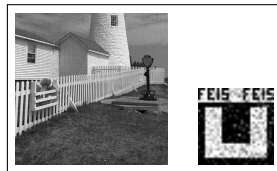
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



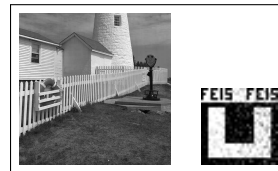
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



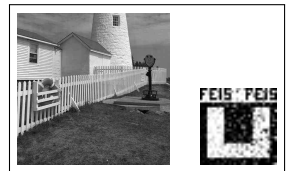
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



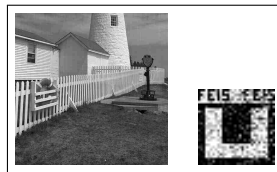
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



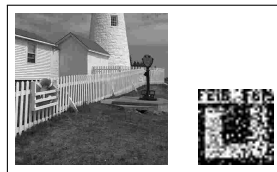
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



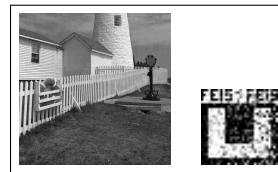
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



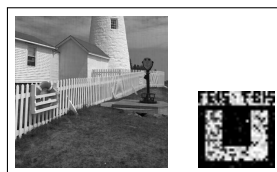
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



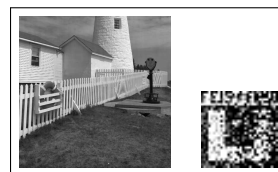
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



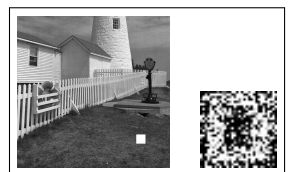
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



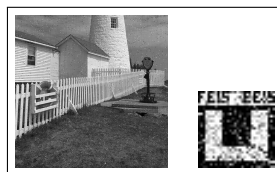
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



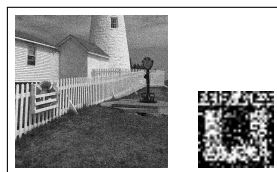
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



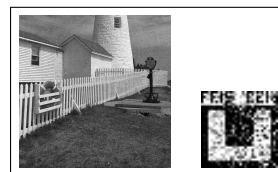
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



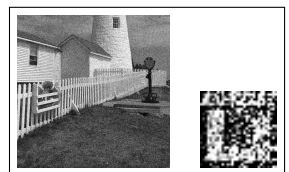
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



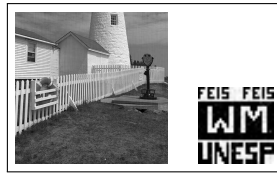
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 79** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



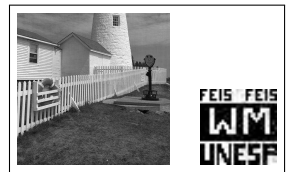
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



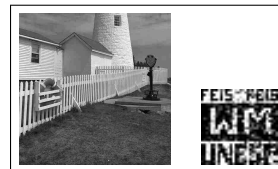
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



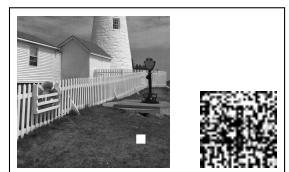
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



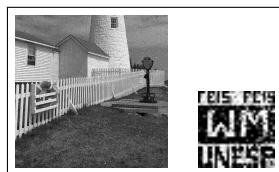
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



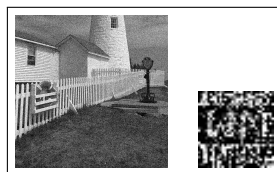
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



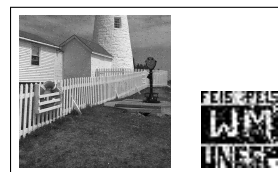
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



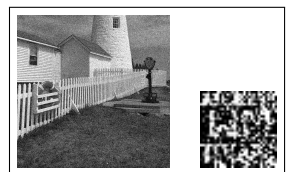
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



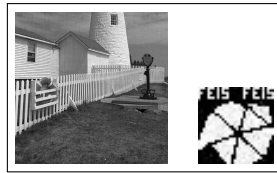
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 80** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LIGHTHOUSE - MARCA 4).



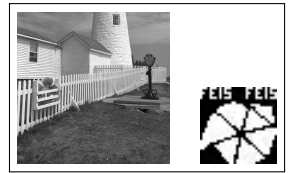
(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



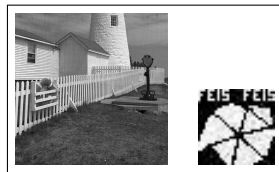
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



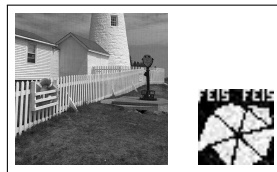
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



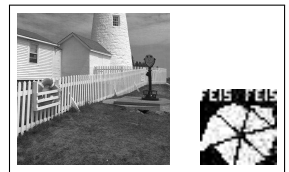
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



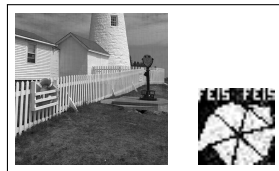
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



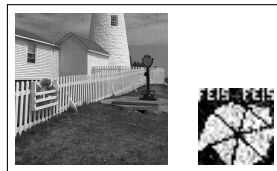
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



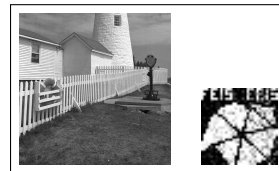
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



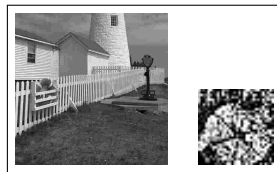
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



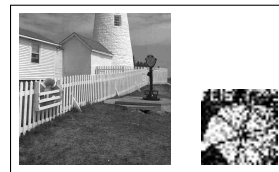
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



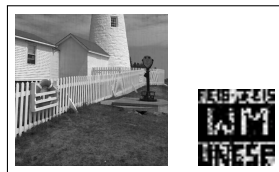
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



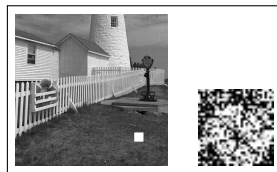
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



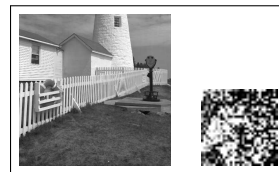
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



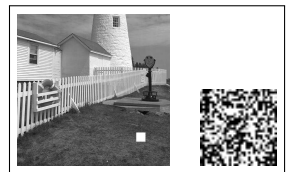
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



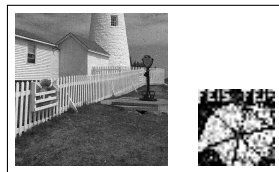
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



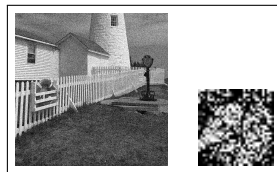
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



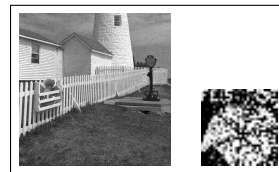
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



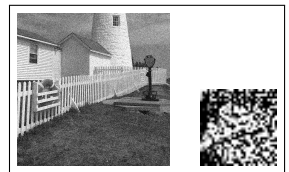
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 81** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



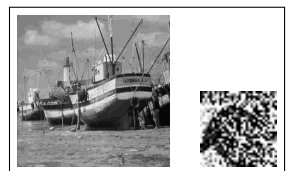
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



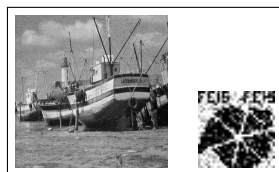
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



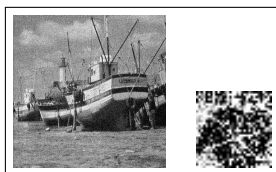
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



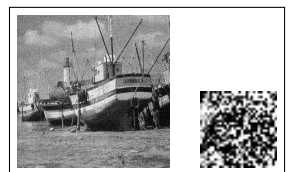
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



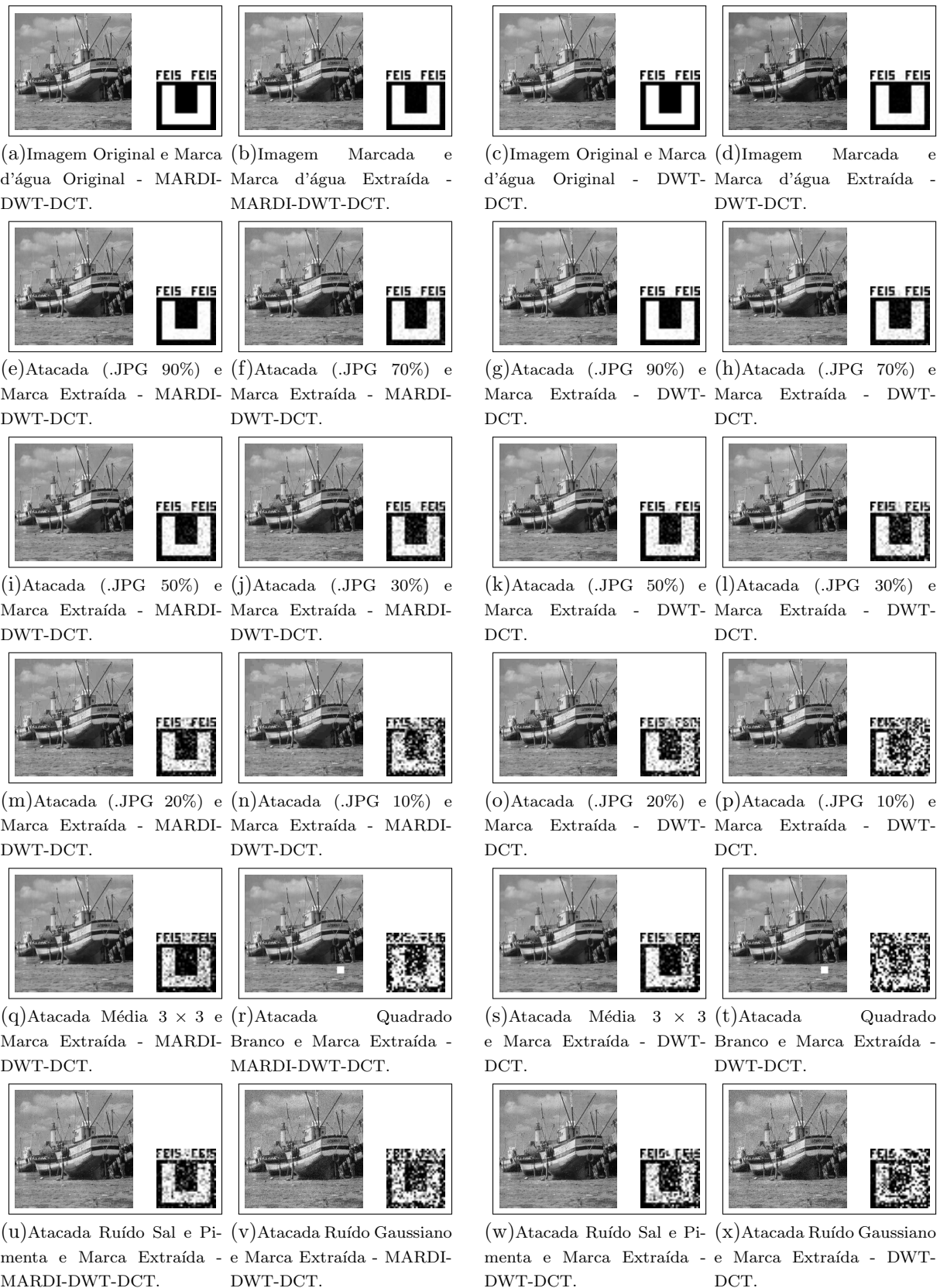
(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 82** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 2).

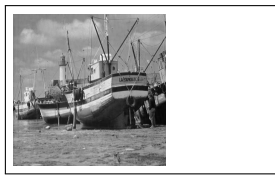


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 83** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



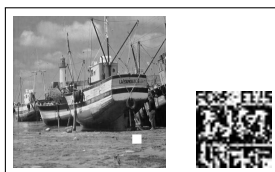
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



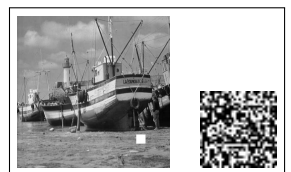
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



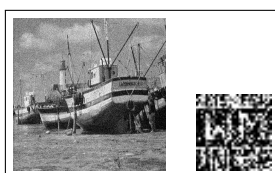
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



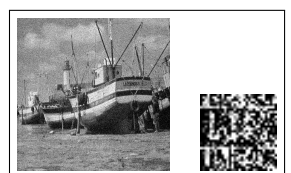
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



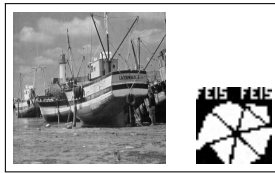
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 84** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (BOAT - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



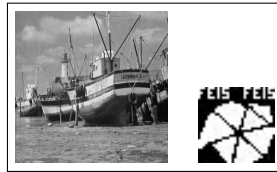
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



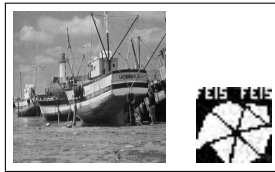
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



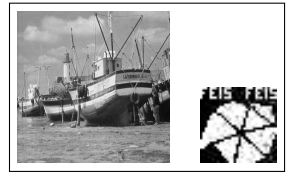
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



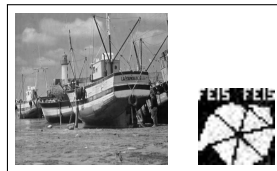
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



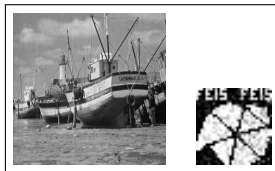
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



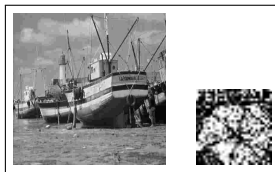
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



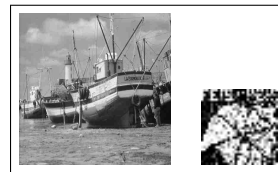
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



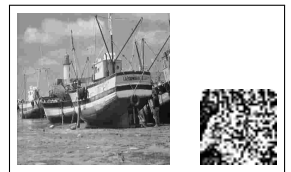
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



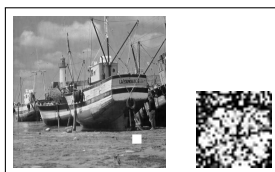
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



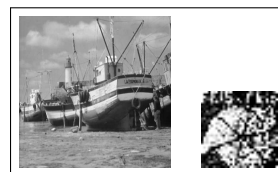
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



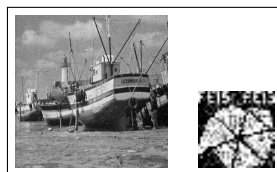
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



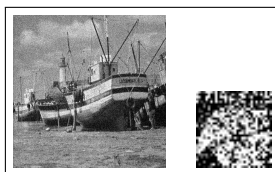
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



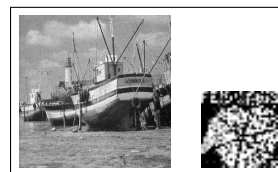
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



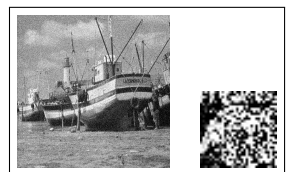
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 85** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



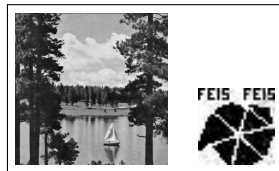
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



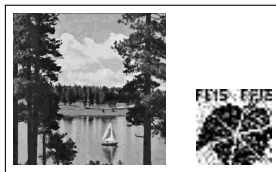
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



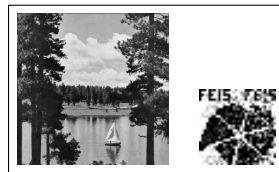
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



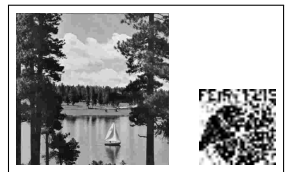
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



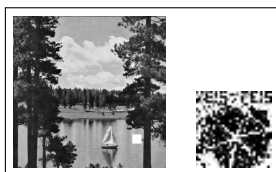
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



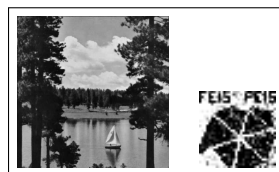
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



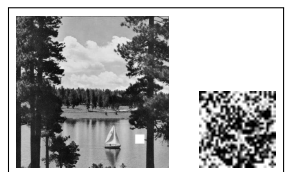
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



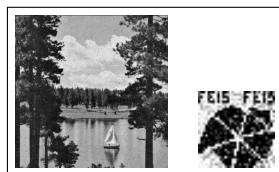
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



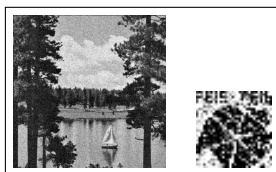
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



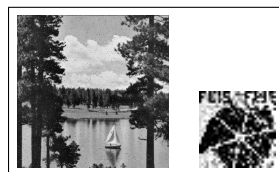
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



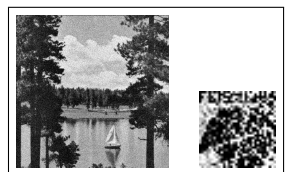
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 86** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



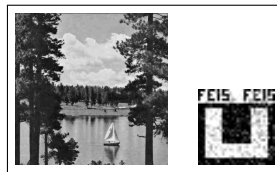
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



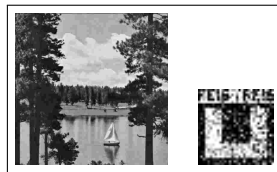
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



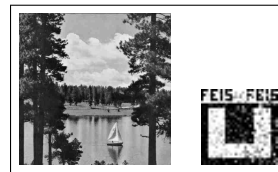
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



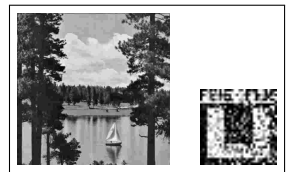
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



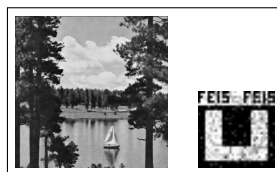
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



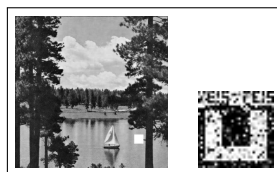
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



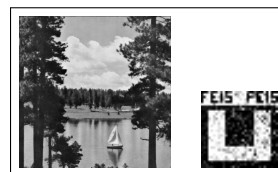
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



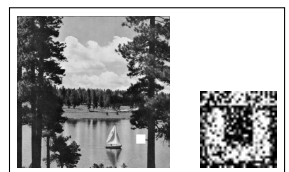
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



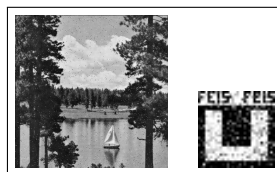
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



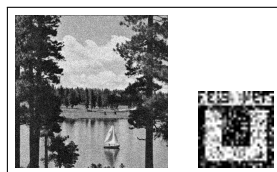
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



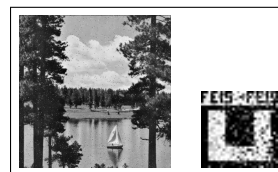
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



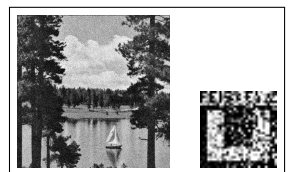
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 87** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



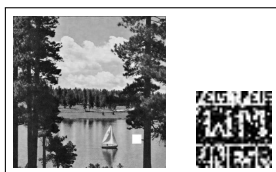
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



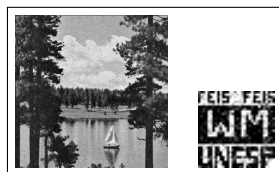
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



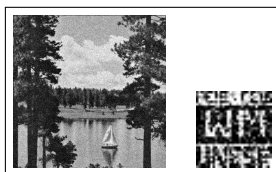
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



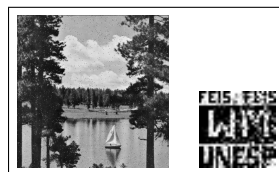
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



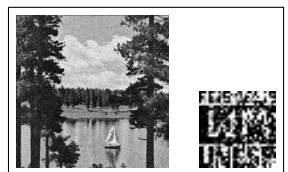
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 88** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (LAKE - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



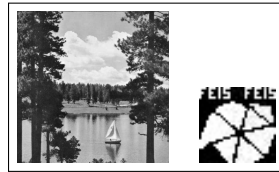
(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



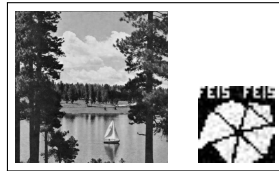
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



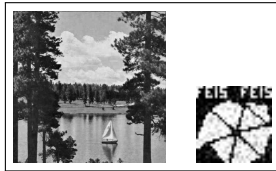
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



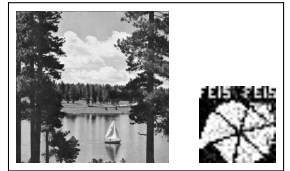
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



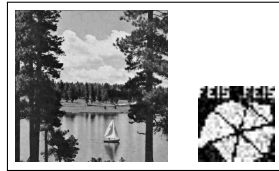
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



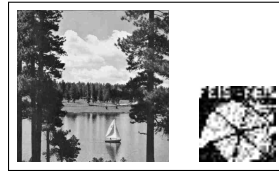
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



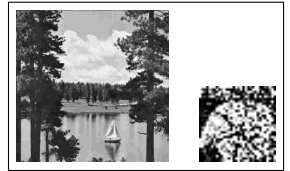
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



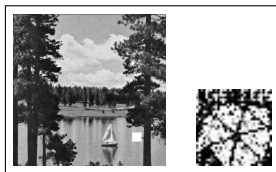
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



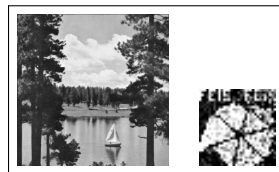
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



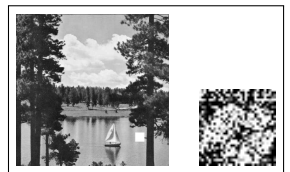
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



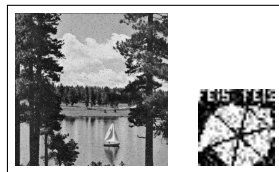
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



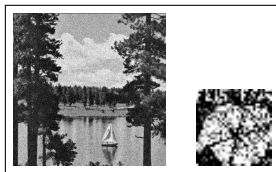
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



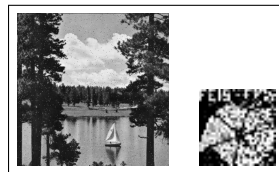
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



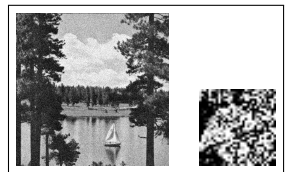
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 89** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



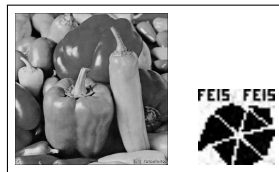
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



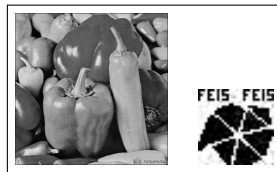
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



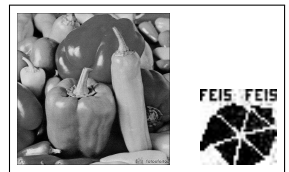
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



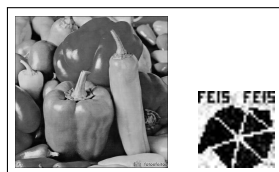
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



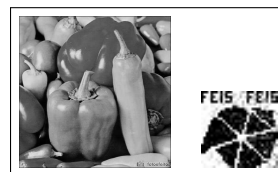
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



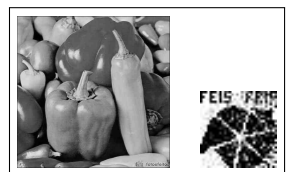
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



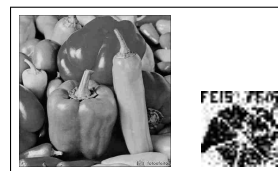
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



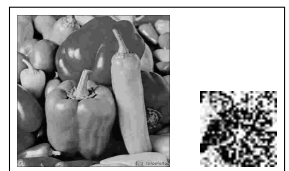
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



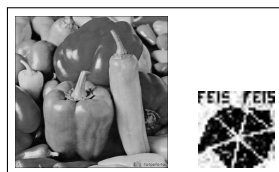
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



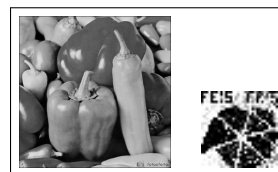
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



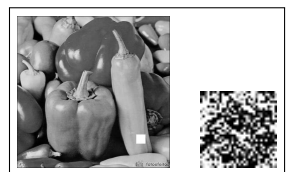
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



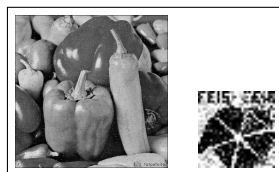
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



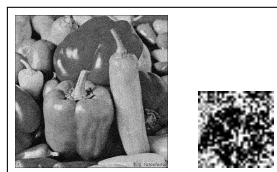
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



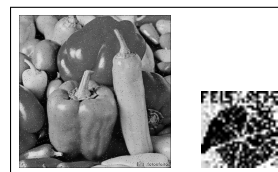
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



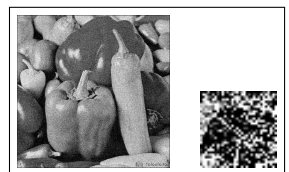
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 90** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



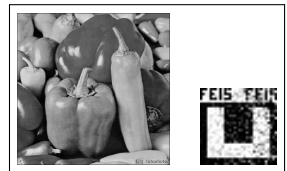
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



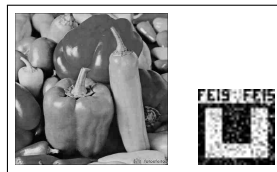
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



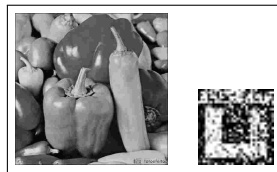
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



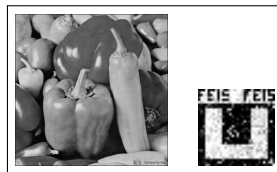
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



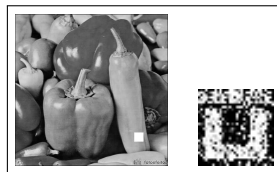
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



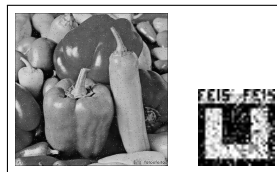
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



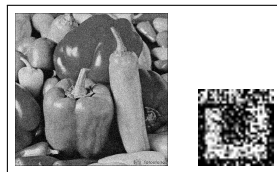
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



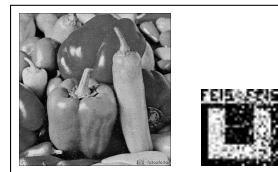
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



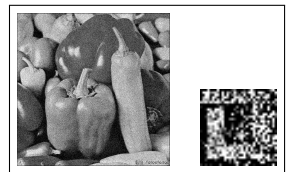
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 91** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



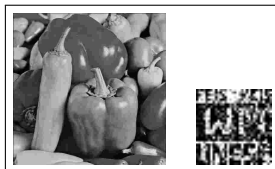
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



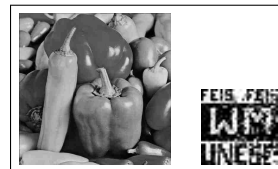
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



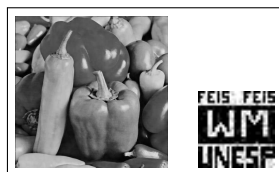
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



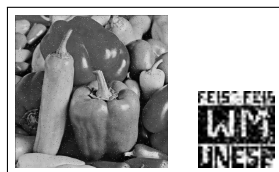
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



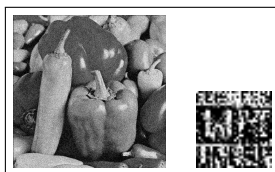
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



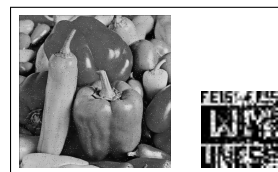
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



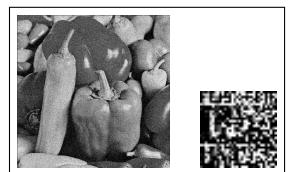
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



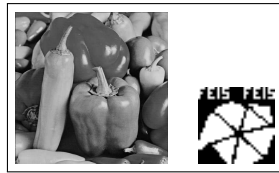
(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



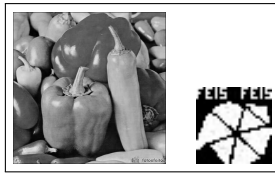
(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 92** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (PEPPERS - MARCA 4).



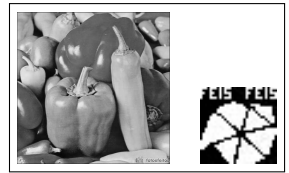
(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



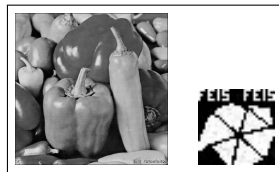
(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



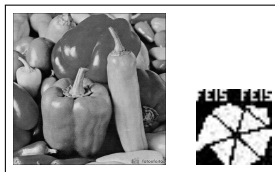
(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



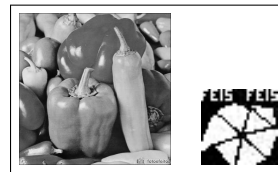
(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



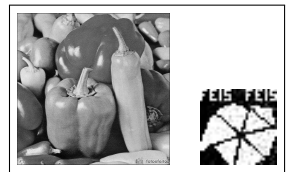
(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



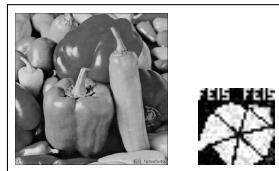
(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



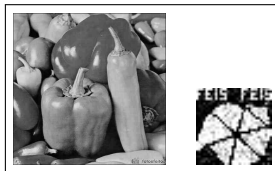
(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



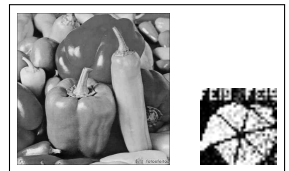
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



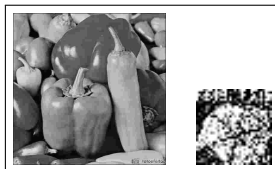
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



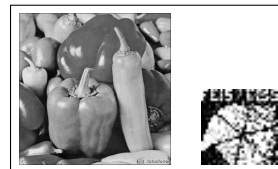
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



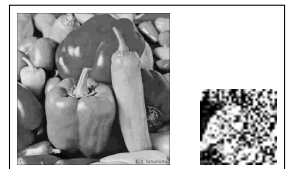
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



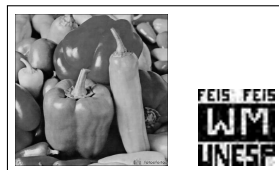
(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



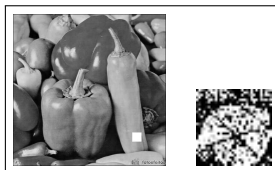
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



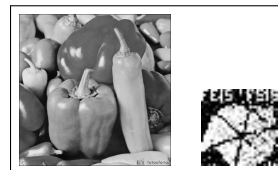
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



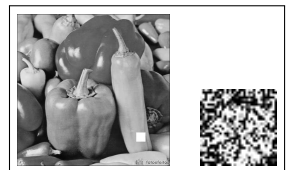
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



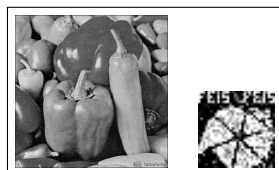
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



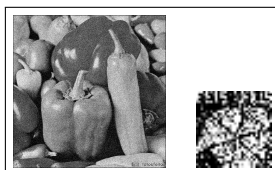
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



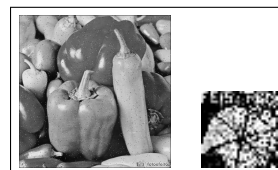
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



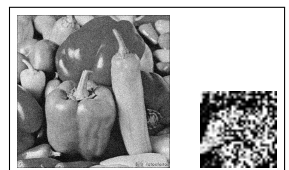
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 93** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 1).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.



**Figura 94** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



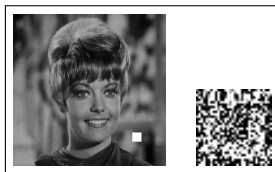
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 95** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 3).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 96** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (ZELDA - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



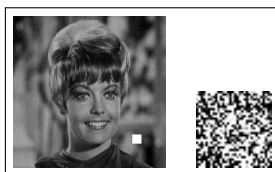
(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



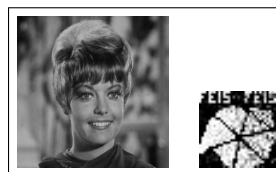
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



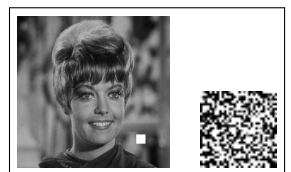
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 97** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 1).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



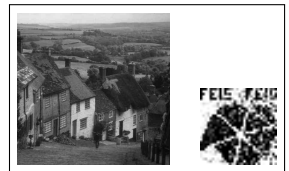
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



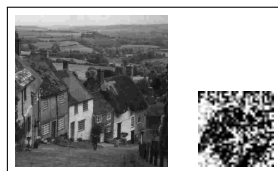
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



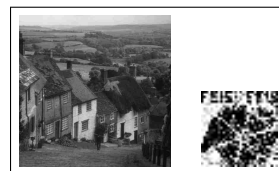
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



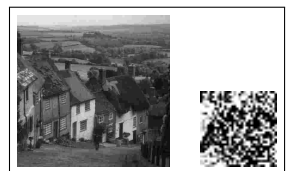
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



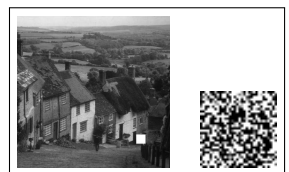
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



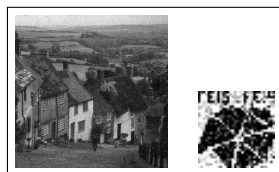
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



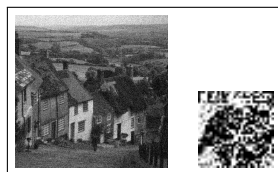
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



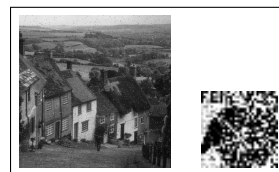
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



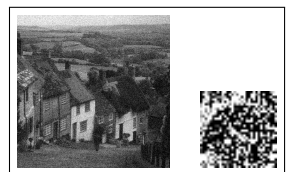
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 98** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 2).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



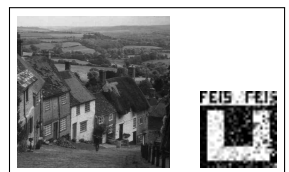
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



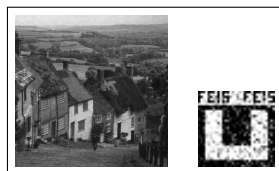
(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



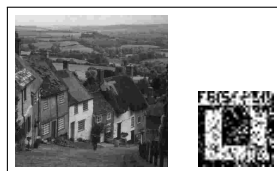
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



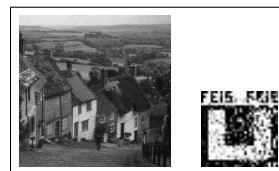
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



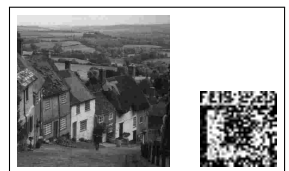
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



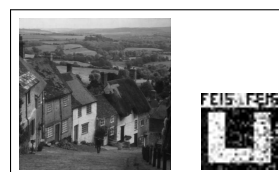
(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



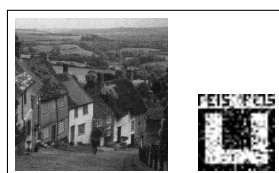
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



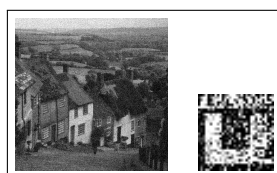
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



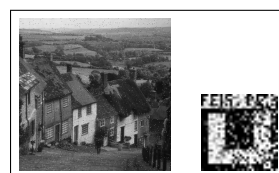
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



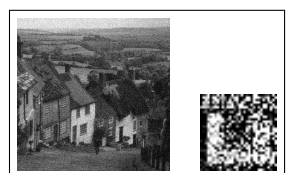
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 99** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 3).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(f) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(j) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



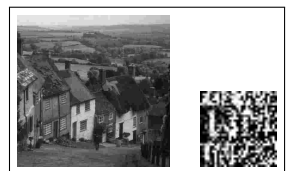
(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(n) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



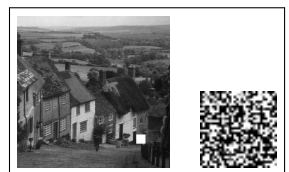
(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



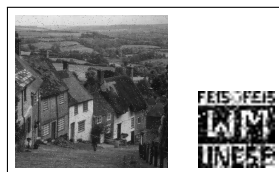
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



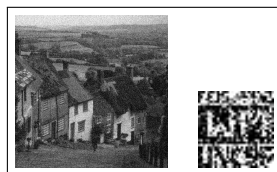
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



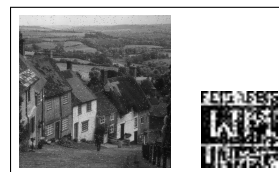
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



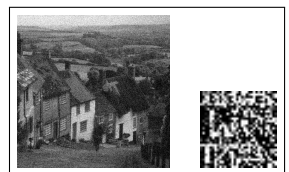
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 100** – Resultados obtidos com a implementação da técnica MARDI-DWT-DCT (VILA - MARCA 4).



(a) Imagem Original e Marca d'água Original - MARDI-DWT-DCT.



(b) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(c) Imagem Original e Marca d'água Original - DWT-DCT.



(d) Imagem Marcada e Marca d'água Extraída - DWT-DCT.



(e) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(g) Atacada (.JPG 90%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



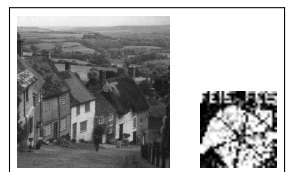
(h) Atacada (.JPG 70%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



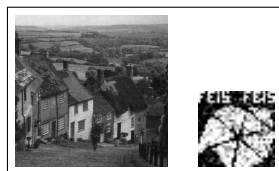
(i) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



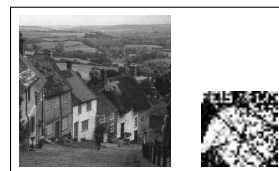
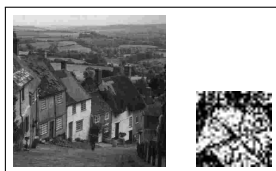
(k) Atacada (.JPG 50%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



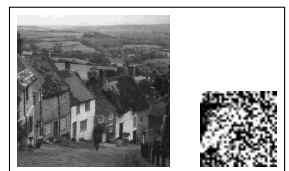
(l) Atacada (.JPG 30%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(m) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(o) Atacada (.JPG 20%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(p) Atacada (.JPG 10%) e Marca Extraída - DWT-DCT.



(q) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



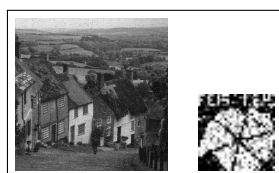
(r) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



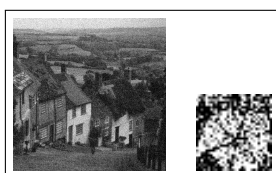
(s) Atacada Média  $3 \times 3$  e Marca Extraída - DWT-DCT.



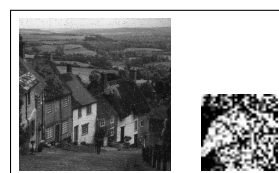
(t) Atacada Quadrado Branco e Marca Extraída - DWT-DCT.



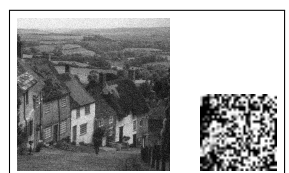
(u) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(v) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - MARDI-DWT-DCT.



(w) Atacada Ruído Sal e Pimenta e Marca Extraída - DWT-DCT.



(x) Atacada Ruído Gaussiano e Marca Extraída - DWT-DCT.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.