

DANIEL MORAES SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE ALGORÍTMOS GENÉTICOS NA GERAÇÃO DE
TABELAS DE QUANTIZAÇÃO Y Cb Cr PARA O PADRÃO JPEG E
AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS DE BLOCOS**

**UBERLÂNDIA
2006**

DANIEL MORAES SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE ALGORÍTMOS GENÉTICOS NA GERAÇÃO DE
TABELAS DE QUANTIZAÇÃO Y Cb Cr PARA O PADRÃO JPEG E
AVALIAÇÃO DE ARTEFATOS DE BLOCOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Processamento Digital de Sinais.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Cláudio
Paschoarelli Veiga

**UBERLÂNDIA
2006**

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original...”

(Albert Einstein)

A meus pais,
Elizabete (in memorian) e José Hely.

A meus Irmãos,
Mathews e Thiago.

Especialmente a Patrícia,
que me deu força e carinho nesta
caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Prof. Antônio Cláudio P. Veiga, meu orientador, que acreditou nessa proposta e se empenhou, ao meu lado, na sua elaboração. Pela dedicação, pelo profissionalismo e pelo apoio nos momentos mais difíceis, registro aqui a minha gratidão.

Aos colegas do mestrado e do doutorado, que em um determinado momento cruzaram meu caminho e com os quais pude contar, em especial aos colegas João Paulo Ribas e principalmente, Edgar Silva Júnior.

Aos meus irmãos, Thiago e Mathews, pelo apoio nos dias de tristeza.

Ao meu pai, José Hely dos Santos, que mesmo nas situações difíceis da vida sempre esteve ao meu lado nesta caminhada.

A minha mãe pelo incentivo, acreditando sempre em minha capacidade.

A minha namorada Patrícia Gonçalves de Marilac, pelo apoio incondicional e incentivo diário para que pudesse continuar esse caminho longo, mas gratificante. Pelos dias, meses distantes.

Finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente caminharam ao meu lado e me incentivaram durante essa etapa.

SANTOS, Daniel Moraes. **Utilização de Algoritmos Genéticos na Geração de Tabelas de Quantização YCbCr para o Padrão JPEG e Avaliação de Artefatos de Blocos.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia MG, 2006. (Dissertação de Mestrado).

RESUMO

O padrão JPEG tem sido usado por um longo tempo como algoritmo referência para compressão de imagens monocromáticas, e essa compressão pode ser aplicada separadamente em componentes de imagens coloridas. No processo de compressão de imagem. Esse padrão utiliza tabelas de quantização padrão independentemente da aplicação. Usando JPEG, a perda de qualidade da imagem reconstruída é função direta do processo de quantização e isso pode ser visto pela medida da PSNR como também em termos de qualidade subjetiva.

Será apresentado neste trabalho um método para geração das tabelas de quantização do padrão JPEG, aplicado a imagens naturais monocromáticas e coloridas.

Uma outra inovação deste trabalho é o uso de Algoritmos Genéticos na procura de uma melhor tabela de quantização para uma classe de imagens, ou seja, obtenção de uma PSNR superior se comparada com as tabelas padrão JPEG.

A comparação entre as tabelas de quantização do algoritmo proposto neste trabalho e o padrão JPEG é feita também pela aplicação de uma métrica de artefato de bloqueamento para imagens comprimidas, destacando-se assim qual algoritmo fornecerá o menor artefato de bloqueamento.

Palavras – Chave: Algoritmo Genético, Tabela de Quantização, Quantização, Taxa de Compressão, Artefato de Bloqueamento.

ABSTRACT

The JPEG standard has been used for a long time as the algorithm of reference for the compression of monochrome images, and that compression would be applied separately to components of color images. In the process of image compression JPEG utilizes standard quantization table in an independent way to the application. Using JPEG, the quality loss of the reconstructed image is a direct function of the quantization process and this can be seen in the peak signal to noise ratio (PSNR) as in terms of subjective quality. A method for the generation of quantization tables for the JPEG algorithm applicable to monochrome and color images is showed and it is addressed to specific applications, that is, compression of natural images, etc.

Another innovation is the use of Genetic Algorithms in the search for a quantization table linked to a class of images and this provides a superior PSNR, if compared with that obtained by the JPEG algorithm with its standard quantization table.

The comparisson between the algorithm proposed in this Project and the JPEG standart is also done through the application of a blockiness metric for compressed images, highlighting which algorithm will provide the lowest blocking artifact.

Key – Words: Genetic Algorithms, Quantization Table, Quantization, Compression Rate, Blocking Artifact.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1 - IMAGEM ORIGINAL LENNA.....	21
FIGURA 1-2 - IMAGEM ORIGINAL MANDRIL.....	21
FIGURA 1-3 - IMAGEM ORIGINAL ZELDA.	22
FIGURA 2-1 - CUBO DE CORES RGB.	27
FIGURA 2-2 - MODELO DE UM SISTEMA DE COMPRESSÃO GENÉRICO.	29
FIGURA 2-3 – MODELOS. (A) CODIFICADOR FONTE; (B) DECODIFICADOR FONTE.....	30
FIGURA 2-4 - CODIFICADOR SIMPLIFICADO JPEG.	33
FIGURA 2-5 - DECODIFICADOR SIMPLIFICADO JPEG.	33
FIGURA 2-6 - ARTEFATOS DE BLOQUEAMENTO. BLOCKINESS, RINGING E BLUR	37
FIGURA 3-1 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE COMPRESSÃO PROPOSTO E PADRÃO JPEG.	38
FIGURA 3-2 - ALGORITMO ZIG - ZAG.	39
FIGURA 3-3 - CROMOSSOMO PAI 1.....	45
FIGURA 3-4 - CROMOSSOMO PAI 2.....	46
FIGURA 3-5 - CROMOSSOMO PAI 1 COM AS LINHAS E AS COLUNAS SELECIONADAS PARA O Crossover.	46
FIGURA 3-6 - CROMOSSOMO FILHO 1.....	47
FIGURA 3-7 - CROMOSSOMO FILHO 2.....	47
FIGURA 3-8 - SELEÇÃO DO (S) GENE (S) PARA A MUTAÇÃO NO CROMOSSOMO FILHO 1.	48
FIGURA 3-9 - MUTAÇÃO REALIZADA NO CROMOSSOMO FILHO 1.	48
FIGURA 3-10 - PROCESSOS DO ALGORITMO GENÉTICO PROPOSTO.	50
FIGURA 3-11 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO GENÉTICO PROPOSTO.....	51
FIGURA 3-12 - ARTEFATO DE BLOQUEAMENTO NA HORIZONTAL.....	54
FIGURA 3-13 - ARTEFATO DE BLOQUEAMENTO NA VERTICAL.	54
FIGURA 3-14 - SEQUÊNCIA COMBINADA Z(N) NA VERTICAL.	55
FIGURA 3-15 - SEQUÊNCIA COMBINADA Z(N) NA HORIZONTAL.	55
FIGURA 3-16 - FLUXOGRAMA DA MÉTRICA PROPOSTA.	61
FIGURA 4-1 - IMAGEM ORIGINAL LENNA.....	66
FIGURA 4-2 - IMAGEM ORIGINAL MANDRIL.....	66
FIGURA 4-3 - IMAGEM ORIGINAL ZELDA.	67
FIGURA 4-4 - IMAGEM LUMINÂNCIA ORIGINAL LENNA.....	69
FIGURA 4-5 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.....	70
FIGURA 4-6 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.....	70
FIGURA 4-7 - IMAGEM CROMINÂNCIA B ORIGINAL.	72
FIGURA 4-8 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.....	72
FIGURA 4-9 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.	73

FIGURA 4-10 - IMAGEM CROMINÂNCIA R ORIGINAL LENNA	74
FIGURA 4-11 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.....	74
FIGURA 4-12 - IMAGEM CROMINÂNCIA R JPEG PADRÃO LENNA PRIMEIRO CONJUNTO.	75
FIGURA 4-13 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG LENNA SEGUNDO CONJUNTO.....	79
FIGURA 4-14 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO LENNA SEGUNDO CONJUNTO.....	79
FIGURA 4-15 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG LENNA SEGUNDO CONJUNTO.....	80
FIGURA 4-16 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO LENNA SEGUNDO CONJUNTO.	80
FIGURA 4-17 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG LENNA SEGUNDO CONJUNTO.....	81
FIGURA 4-18 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG LENNA SEGUNDO CONJUNTO.	81
FIGURA 4-19 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	84
FIGURA 4-20 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	84
FIGURA 4-21 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	85
FIGURA 4-22 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	85
FIGURA 4-23 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	86
FIGURA 4-24 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	86
FIGURA 4-25 - IMAGEM LUMINÂNCIA ORIGINAL BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.	88
FIGURA 4-26 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.....	89
FIGURA 4-27 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.....	89
FIGURA 4-28 - IMAGEM CROMINÂNCIA B ORIGINAL BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.	90
FIGURA 4-29 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.....	91
FIGURA 4-30 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.	91
FIGURA 4-31 - IMAGEM CROMINÂNCIA R ORIGINAL BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.	92
FIGURA 4-32 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.....	93
FIGURA 4-33 - IMAGEM CROMINÂNCIA R JPEG PADRÃO BOAT PRIMEIRO CONJUNTO.	93
FIGURA 4-34 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	97
FIGURA 4-35 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	98
FIGURA 4-36 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	98
FIGURA 4-37 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	99
FIGURA 4-38 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	99
FIGURA 4-39 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG MANDRIL SEGUNDO CONJUNTO.	100
FIGURA 4-40 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG MANDRIL TERCEIRO CONJUNTO.	102
FIGURA 4-41 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO LENNA TERCEIRO CONJUNTO.	103
FIGURA 4-42 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG MANDRIL TERCEIRO CONJUNTO.	103
FIGURA 4-43 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO MANDRIL TERCEIRO CONJUNTO.....	104
FIGURA 4-44 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG MANDRIL TERCEIRO CONJUNTO.	104
FIGURA 4-45 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG MANDRIL TERCEIRO CONJUNTO.....	105
FIGURA 4-46 - IMAGEM LUMINÂNCIA ORIGINAL ZELDA.	107

FIGURA 4-47 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	107
FIGURA 4-48 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	108
FIGURA 4-49 - IMAGEM CROMINÂNCIA B ORIGINAL ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	109
FIGURA 4-50 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	109
FIGURA 4-51 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	110
FIGURA 4-52 - IMAGEM CROMINÂNCIA R ORIGINAL ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	111
FIGURA 4-53 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	111
FIGURA 4-54 - IMAGEM CROMINÂNCIA R JPEG PADRÃO ZELDA PRIMEIRO CONJUNTO.	112
FIGURA 4-55 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	115
FIGURA 4-56 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	116
FIGURA 4-57 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	116
FIGURA 4-58 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	117
FIGURA 4-59 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	117
FIGURA 4-60 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG ZELDA SEGUNDO CONJUNTO.	118
FIGURA 4-61 - IMAGEM LUMINÂNCIA AG ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	120
FIGURA 4-62 - IMAGEM LUMINÂNCIA JPEG PADRÃO ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	121
FIGURA 4-63 - IMAGEM CROMINÂNCIA B AG ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	121
FIGURA 4-64 - IMAGEM CROMINÂNCIA B JPEG PADRÃO ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	122
FIGURA 4-65 - IMAGEM CROMINÂNCIA R AG ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	122
FIGURA 4-66 - IMAGEM CROMINÂNCIA R PADRÃO JPEG ZELDA TERCEIRO CONJUNTO.	123
FIGURA 4-67 - EFEITO DE BLOCKINESS PARA LUMINÂNCIA VERTICAL DO AG.	130
FIGURA 4-68 - EFEITO DE BLOCKINESS PARA LUMINÂNCIA VERTICAL DO JPEG PADRÃO.	130
FIGURA 4-69 - EFEITO DE BLOCKINESS PARA LUMINÂNCIA HORIZONTAL DO AG.	131
FIGURA 4-70 - EFEITO DE BLOCKINESS PARA LUMINÂNCIA HORIZONTAL DO JPEG PADRÃO.	131
FIGURA 4-71 - EFEITO DE BLOCKINESS VERTICAL DO AG.	133
FIGURA 4-72 - EFEITO DE BLOCKINESS VERTICAL DO JPEG PADRÃO.	133
FIGURA 4-73 - EFEITO DE BLOCKINESS HORIZONTAL DO AG.	134
FIGURA 4-74 - EFEITO DE BLOCKINESS HORIZONTAL DO JPEG PADRÃO.	134
FIGURA 4-75 - IMAGEM ORIGINAL DA CROMINÂNCIA R PARA O ARTEFATO DE RINGING.	135
FIGURA 4-76 - IMAGEM CROMINÂNCIA R DO JPEG PADRÃO PARA O ARTEFATO DE RINGING.	135
FIGURA 4-77 - IMAGEM CROMINÂNCIA R DO AG PARA O ARTEFATO DE RINGING.	136

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 - TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA LUMINÂNCIA DO PADRÃO JPEG.	35
TABELA 2-2 - TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA CROMINÂNCIAS (Cb e Cr) DO PADRÃO JPEG.....	36
TABELA 4-1 - PSNR DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA LENA.....	67
TABELA 4-2 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA LENA.	75
TABELA 4-3 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B LENA.	76
TABELA 4-4 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA R LENA.	76
TABELA 4-5 - PSNR DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA LENA.....	76
TABELA 4-6 - BITS POR PIXEL DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM LENA.	77
TABELA 4-7 - PSNR DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA LENA.....	77
TABELA 4-8 - BITS POR PIXEL DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM LENA.	77
TABELA 4-9 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA LENA.	78
TABELA 4-10 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R LENA.	78
TABELA 4-11 - PSNR DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA LENA.	82
TABELA 4-12 - BITS POR PIXEL DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM LENA.	82
TABELA 4-13 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA LENA.	83
TABELA 4-14 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R LENA.	83
TABELA 4-15 - RELAÇÃO SINAL - RUÍDO DE PICO DA IMAGEM MANDRIL.	87
TABELA 4-16 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA MANDRIL.....	94
TABELA 4-17 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIAS B E R MANDRIL.	94
TABELA 4-18 - PSNR DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.	95
TABELA 4-19 - BITS POR PIXEL DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.....	95
TABELA 4-20 - PSNR DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.	95

TABELA 4-21 - BITS POR PIXEL DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.....	96
TABELA 4-22 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA MANDRIL.....	96
TABELA 4-23 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R MANDRIL.....	97
TABELA 4-24 - PSNR DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.	100
TABELA 4-25 - BITS POR PIXEL DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM MANDRIL.....	101
TABELA 4-26 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA MANDRIL.....	101
TABELA 4-27 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R MANDRIL.....	102
TABELA 4-28 - RELAÇÃO SINAL - RUÍDO DE PICO DA IMAGEM ZELDA.	105
TABELA 4-29 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA ZELDA.	112
TABELA 4-30 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIAS B E R ZELDA.....	113
TABELA 4-31 - BITS POR PIXEL DO PRIMEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM ZELDA.	113
TABELA 4-32 - PSNR DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM ZELDA.	114
TABELA 4-33 - BITS POR PIXEL DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM ZELDA.	114
TABELA 4-34 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA ZELDA.	114
TABELA 4-35 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO SEGUNDO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R ZELDA.	115
TABELA 4-36 - PSNR DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM ZELDA.....	118
TABELA 4-37 - BITS POR PIXEL DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DA IMAGEM ZELDA.	119
TABELA 4-38 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA LUMINÂNCIA ZELDA.	119
TABELA 4-39 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO DE TABELAS PARA CROMINÂNCIA B E R ZELDA.	120
TABELA 4-40 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA COMPONENTE LUMINÂNCIA DO PRIMEIRO CONJUNTO.....	125
TABELA 4-41 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA CROMINÂNCIA B E R DO PRIMEIRO CONJUNTO. ..	125

TABELA 4-42 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA LUMINÂNCIA DO SEGUNDO CONJUNTO.	126
TABELA 4-43 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA CROMINÂNCIA B E R DO SEGUNDO CONJUNTO. ..	126
TABELA 4-44 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA LUMINÂNCIA DO TERCEIRO CONJUNTO.	126
TABELA 4-45 - MELHOR TABELA DE QUANTIZAÇÃO PARA CROMINÂNCIA B E R DO TERCEIRO CONJUNTO. ...	127
TABELA 4-46 - VALORES DOS ARTEFATOS DE BLOQUEAMENTO PARA AS TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DO PRIMEIRO CONJUNTO.	129
TABELA 4-47 - VALORES DOS ARTEFATOS DE BLOQUEAMENTO PARA AS TABELAS DE QUANTIZAÇÃO DO TERCEIRO CONJUNTO.	132

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4-1 - GRÁFICO RELAÇÃO SINAL RUÍDO DE PICO X TAXA BITS POR PIXEL PARA LUMINÂNCIA.	127
GRÁFICO 4-2 - GRÁFICO RELAÇÃO SINAL RUÍDO DE PICO X TAXA BITS POR PIXEL PARA CROMINÂNCIAS B E R.	128

LISTA DE SIGLAS

JPEG	Joint Photographic Experts Group
PSNR	Relação Sinal Ruído de pico
AG	Algoritmo Genético
RGB	Sistema de cores (Red, Green e Blue)
YCbCr	Luminância, Crominância b e Crominância r
CMY	Sistemas de cores (Cyan, Magenta e Yellow)
TV	Televisão
DCT	Transformada Discreta Cosseno
FDCT	Transformada Discreta Cosseno Direta
IDCT	Transformada Discreta Cosseno Inversa
2-D	Duas Dimensões
va	Variável Aleatória
pop	População Inicial
px	Taxa de Crossover
pm	Taxa de Mutação
B-DCT	Transformada Discreta Cosseno em Blocos
MPEG	Moving Picture Experts Group
BAV	Artefato de Bloqueamento Total
BAV _v	Artefato de Bloqueamento na Vertical
BAV _h	Artefato de Bloqueamento na Horizontal
QP	Parâmetro de Quantização

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1.1 Descrição do Sistema Proposto.....	19
1.2 Objetivos deste Trabalho	22
1.3 Justificativa deste Trabalho.....	23
1.4 Estrutura desta Dissertação	23
1.6 Considerações Finais deste Trabalho.....	24
CONCEITOS FUNDAMENTAIS E PADRÃO JPEG.....	25
2.1 Fundamentos e Modelos de Cor	25
2.1.1 O modelo de cor RGB.....	26
2.1.2 O modelo de cor YCbCr	27
2.2 Modelos de compressão de imagens.....	28
2.2.1 Os codificadores e decodificadores fonte	29
2.3 Compressão Livre de Erros.....	31
2.4 Compressão com Perdas	32
2.5 Compressão de Imagens Estáticas Monocromática e Colorida	32
2.5.1 Modelo de Compressão JPEG	33
2.6 Artefatos de Bloqueamento.....	36
2.7 Considerações Finais deste Capítulo	37
ARQUITETURA PROPOSTA.....	38
3.1 Algoritmos Genéticos	40
3.1.1 Operadores Genéticos	40
3.2 Algoritmo Genético Proposto	41
3.2.1 Seleção Natural	44
3.3 Métrica do Artefato de Bloqueamento.....	52
3.3.1 A métrica.....	53
3.3.2 Análise da frequência do artefato de bloqueamento	53
3.3.3 Métrica proposta para artefato de bloqueamento para imagens reconstruídas.	59
3.4 Considerações finais deste capítulo	63

RESULTADOS OBTIDOS	64
4.1 Introdução	64
4.2 Simulações	65
4.2.1 Simulações da Imagem Lenna	67
4.2.2 Simulações para Imagem Mandril	87
4.2.3 Simulações para Imagem Zelda	105
4.3 Melhores Tabelas de Quantização	123
4.4 Simulação da Métrica	128
4.5 Verificação do Artefato de Ringing.....	134
4.6 Considerações Finais deste Capítulo	136
CONCLUSÃO	138
5.1 Análise dos Resultados Obtidos.....	138
5.2 Contribuições do Trabalho.....	140
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	141
BIBLIOGRAFIA	142

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, houve uma rápida evolução da tecnologia digital, especialmente em relação à aquisição, armazenagem e visualização de imagens digitais. A demanda pela qualidade e fidelidade em imagens digitais que retrate cenas e objetos reais cresce continuamente.

Com o rápido desenvolvimento da Internet e com a necessidade de enviar imagens digitais pela Internet, é essencial aplicar técnicas de compressão de dados para diminuir o tempo necessário para a transmissão da imagem por um canal de banda limitada. Em termos de armazenagem dessas imagens, é interessante aplicar o processo de compressão para reduzir o espaço necessário em *bytes*¹ para essa armazenagem.

Devido a isso, é necessário ter uma qualidade apropriada nas imagens reconstruídas, especialmente em imagens médicas descomprimidas, onde características essenciais presentes na imagem original são necessárias para produzir um diagnóstico apurado.

Uma técnica muito utilizada há muitos anos para realizar a compressão de imagens, é chamada JPEG², onde baseado em tabelas padrão de quantização realiza-se compressão.

O algoritmo proposto neste trabalho é baseado na idéia principal do padrão JPEG gerar tabelas de quantização mais robustas a ruídos, ou seja, com uma relação sinal ruído

¹ Conjunto de 8 bits.

² Padrão para compressão de imagem: Joint Photographic Experts Group.

de pico (PSNR) maior do que a do padrão JPEG e sua respectiva taxa de compressão (bpp). A PSNR é uma medida que indica a qualidade da imagem reconstruída e bpp é a quantidade de bits por pixel para representar a imagem depois que foi realizada a quantização. O algoritmo proposto é baseado na estrutura dos AG³, em que esses se baseiam na genética humana. Será encontrada uma tabela de quantização utilizando Algoritmo Genético, baseando-se em tabelas de quantização de três imagens utilizadas. As três imagens serão quantizadas, cada uma três vezes, uma com a sua tabela de quantização e outras duas com as tabelas de quantização encontradas a partir das imagens restantes (imagens Mandril e Zelda), gerando assim três valores de PSNR para cada imagem. Esses valores gerados serão analisados e será selecionado o melhor entre todos para ser a melhor tabela de quantização.

Na maioria das imagens reconstruídas, existem alguns tipos de efeitos que degradam as características essenciais das imagens originais devido ao processo de compressão, um desses efeitos é conhecido como artefato de bloqueamento. Esse efeito será analisado pela métrica de bloqueamento, que não necessita da imagem original para detectar os artefatos de bloqueamento presentes na imagem reconstruída após a compressão.

1.1 Descrição do Sistema Proposto

O objetivo deste trabalho é encontrar tabelas de quantização baseadas em Algoritmo Genético, onde elas sejam mais robustas a ruídos que as tabelas de quantização do padrão JPEG. A verificação dos resultados obtidos é feita calculando as

³ Algoritmos computacionais fundamentados na evolução genética.

PSNR's das imagens reconstruídas e taxa de bits por pixel, utilizando as tabelas baseadas nos algoritmos e as tabelas de quantização do padrão JPEG. Esses algoritmos serão aplicados em imagens coloridas (RGB)⁴, que são decompostas em três componentes YCbCr⁵ (luminância, croma b e croma r).

Uma outra contribuição muito importante deste trabalho é a diminuição do efeito de borda, ou artefato de bloqueamento. Este efeito é muito comum em imagens comprimidas. Uma métrica de bloqueamento para imagens reconstruídas sob efeito de compressão foi utilizada para medir esses artefatos de bloqueamento. Um aspecto muito interessante nessa métrica apresentada é que não existe necessidade de se ter a imagem original para realização de tal cálculo, é necessária somente a imagem descomprimida.

O Algoritmo Genético utilizado é aplicado a três imagens (Lenna, Mandril e Zelda), mostradas nas Figuras 1.1, 1.2 e 1.3, respectivamente. Assim, encontram-se as três melhores tabelas de quantização, uma para cada imagem, e depois disso, estabelece-se a melhor tabela a partir dessas três imagens. As PSNR's e as taxas de compressão encontradas são analisadas, detectando as maiores PSNR's e as menores taxas de compressão, assim formam-se três melhores tabelas de quantização (YCbCr). Esse procedimento é realizado três vezes para selecionar três tabelas de quantização para cada componente.

⁴ Sistemas de cores aditivas (vermelho, verde e azul).

⁵ Sistemas de cores, Y representa os tons de cinza, Cb os tons de azul e Cr os tons de vermelho.



Figura 1-1 - Imagem original Lenna.

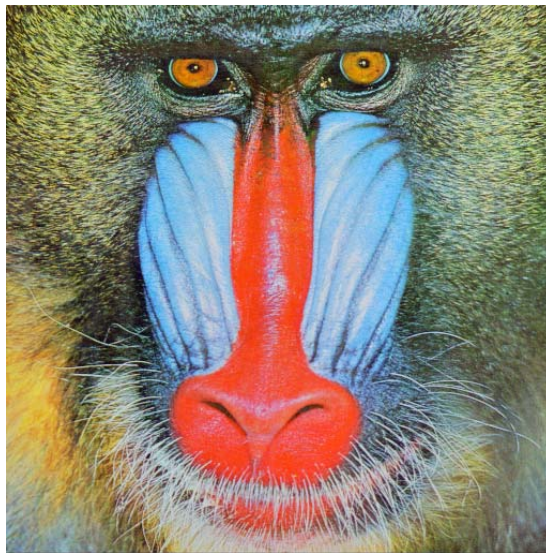


Figura 1-2 - Imagem original Mandril.



Figura 1-3 - Imagem original Zelda.

1.2 Objetivos deste Trabalho

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Desenvolver um algoritmo para gerar tabelas de quantização mais robustas a ruído;
- Encontrar uma tabela padrão para algumas imagens utilizando Algoritmo Genético;
- Avaliar o efeito das tabelas geradas em relação ao efeito de blocos presentes em imagens comprimidas.
- Encontrar tabelas de quantização que o usuário possa escolher, a partir da relação sinal ruído de pico (PSNR) e a taxa de bits por pixel (bpp) mais adequada.

1.3 Justificativa deste Trabalho

A justificativa deste trabalho é aplicar Algoritmos Genéticos na geração de tabelas de quantização. Atualmente, é uma técnica muito estudada pela comunidade científica, já que apresenta uma aplicabilidade muito ampla. Existe atualmente somente uma tabela padrão utilizada e as tabelas encontradas neste trabalho são flexíveis, pois permite ao usuário escolher a relação sinal ruído e a taxa de bits por pixel, ou seja, a qualidade da imagem reconstruída e a quantidade de bits utilizada para representar a imagem, respectivamente.

1.4 Estrutura desta Dissertação

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica para desenvolver a primeira parte do algoritmo proposto, que envolve o padrão JPEG.

O capítulo 3 descreve a arquitetura proposta neste trabalho, incluindo o Algoritmo Genético proposto, a métrica de artefato de bloqueamento proposta, a geração das tabelas de quantização e suas respectivas PSNR's, e também o cálculo da tabela de quantização mais robusta através do AG. Finalmente são realizadas considerações finais deste capítulo.

O capítulo 4 mostra os resultados obtidos para determinar o artefato de bloqueamento das imagens descomprimidas. Posteriormente, são realizadas conclusões sobre esses resultados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões, as contribuições deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

1.6 Considerações Finais deste Trabalho

Este capítulo mostrou a proposta, os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS FUNDAMENTAIS E PADRÃO JPEG

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica dos temas predominantes da primeira parte desta dissertação. Inicialmente, é introduzido o fundamento de cores, os sistemas de cores utilizados (RGB e YCbCr), e depois a técnica de compressão JPEG.

2.1 Fundamentos e Modelos de Cor

Isaac Newton realizou os primeiros estudos de cor no século XVII. Newton provou que a luz branca é composta por uma combinação de cores. Usando um prisma ótico, ele foi capaz de separar a luz branca do sol em uma combinação, como se fosse um arco-íris, onde as cores variam do azul até o vermelho. A partir disso, Newton fez um estudo comprovando que várias cores podiam ser formadas pela combinação de outras cores, por exemplo, ele combinou a cor verde com a vermelha e produziu o amarelo. Com esse experimento Newton chegou a uma conclusão muito importante: que são necessárias as sete cores primárias (cores que representam o arco-íris) para representar todas as outras cores existentes, chamadas não primárias [1].

Modelos de cor ou sistema de coordenadas de cor é uma especificação de um sistema de coordenadas tridimensional (3-D) em um subespaço interno ao sistema, em que cada cor é representada simplesmente por um único ponto [2].

Dentre vários modelos de cores existentes, os mais comuns são o red, green e blue (RGB) para monitores; o cyan, magenta e yellow (CMY) para impressoras coloridas; o YIQ para

transmissão de sinal (analógico), Y representa a luminância, I e Q representam as cores da imagem; e o YCbCr, que é um modelo utilizado em transmissão digital e que independe do sistema de codificação de sinal de TV. Devido à possibilidade de separar a luminância das componentes de cores, esse modelo pode ser utilizado em aplicações coloridas ou monocromáticas.

Os modelos RGB e YCbCr apresentados a seguir, são os modelos utilizados pelo algoritmo proposto neste trabalho. Esses dois modelos são utilizados, pois o Algoritmo de compressão JPEG trabalha com o modelo YCbCr e quase todas as imagens coloridas fazem uso do modelo RGB, com isso é necessário a conversão de um modelo para o outro e vice versa.

2.1.1 O modelo de cor RGB

O modelo RGB é formado por um conjunto de componentes espectrais primários, ou seja, as cores vermelho, verde e azul [3]. Esse modelo é representado por um cubo de coordenadas cartesianas, como mostrado na Figura 2.1. Como se pode verificar, os valores RGB estão nos três cantos do cubo, nos outros três cantos encontram-se as cores ciano, magenta e amarelo. No canto da origem do cubo está localizado o preto e no mais distante da origem o branco. Para imagens monocromáticas, os valores dos níveis de cinza encontram-se ao longo da reta entre o preto e o branco, já os valores das imagens coloridas não se encontram nesse eixo, mas sim, em qualquer lugar dentro ou sobre o cubo.

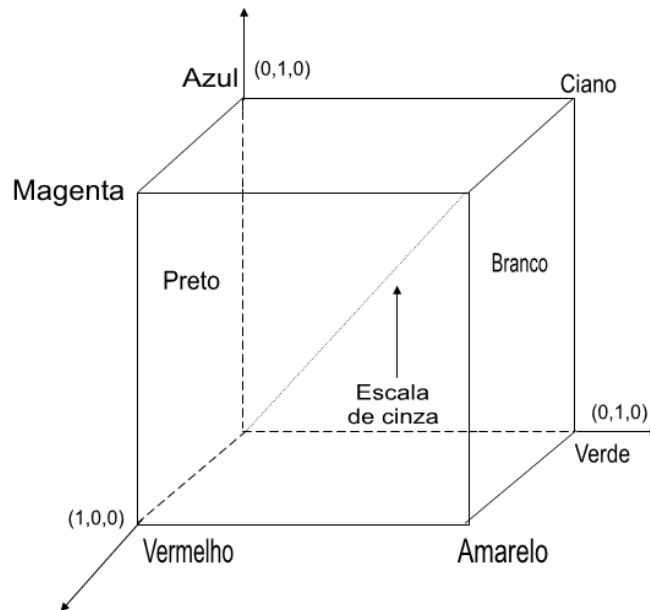


Figura 2-1 - Cubo de cores RGB.

O algoritmo JPEG utiliza o modelo YCbCr para realizar as compressões, pois grande parte dessas operações devem ser feitas nos planos de cores de forma independente. Atualmente, o modelo mais utilizado é o RGB, tanto na reprodução de imagens (monitores) quanto na captura de imagens (câmeras coloridas RGB), por esse motivo é necessário realizar uma transformação entre os modelos [3].

2.1.2 O modelo de cor YCbCr

O modelo de cor YCbCr é muito utilizado em vídeo digital e compressão de imagem no formato JPEG. Nesse modelo, a informação de luminância é reproduzida pela componente Y e a informação de croma pelas componentes Cb e Cr. Cb representa a cor azul e Cr a cor vermelha. A conversão do modelo de cor RGB para o YCbCr e YCbCr para RGB, é mostrada nas Equações 2.1 e 2.2, respectivamente.

$$\begin{cases} Y = 0,5 * G + 0,3 * R + 0,1 * B \\ Cb = \frac{(R - Y)}{1,6} + 0,5 \\ Cr = \frac{(B - Y)}{2} + 0,5 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$\begin{cases} R = Y + 1,6 * Cb - 0,8 \\ B = Y + 2 * Cr - 1 \\ G = \frac{Y - 0,3 * R - 0,1 * B}{0,5} \end{cases} \quad (2.2)$$

2.2 Modelos de compressão de imagens

Para se estruturar um sistema de compressão é necessário que o mesmo seja composto por dois blocos estruturais distintos: um *codificador* e um *decodificador* [3].

Uma imagem de entrada (imagem original) $f(x, y)$ é alimentada no codificador, que cria uma conjunto de símbolos para a mesma. Depois disso, essas informações são transmitidas por um canal, após essa transmissão, a informação alimenta o decodificador,

onde essa informação torna-se uma imagem de saída reconstruída $\hat{f}(x, y)$. Esta imagem pode ser igual a imagem original, ou seja, uma réplica da mesma, sem perdas,

sem ruído; caso contrário, a imagem reconstruída não é uma réplica da imagem original e possui algum tipo de distorção.

A Figura 2.2 mostra a estrutura do codificador e do decodificador [3], em que tanto o primeiro quanto o segundo são compostos por dois sub-blocos ou duas funções relativamente independentes. O codificador é composto de um *codificador de fonte*, que remove redundâncias da entrada, e de um *codificador canal*, que aumenta a imunidade ao ruído na saída do codificador fonte.

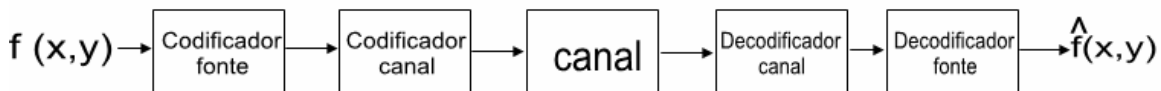


Figura 2-2 - Modelo de um sistema de compressão genérico.

2.2.1 Os codificadores e decodificadores fonte

O codificador fonte é responsável pela redução ou eliminação de qualquer tipo de redundância, que pode ser de três tipos: a redundância psicovisual, a interpixel ou de codificação na imagem de entrada [3]. O primeiro tipo de redundância baseia-se que o brilho de uma região, como percebida pelo olho, depende de outros fatores além de simplesmente a luz refletida pela região. Por exemplo, variações de intensidade podem ser percebidas em uma área de intensidade constante. Tais fenômenos resultam do fato de que o olho não responde com a mesma sensibilidade a todas as informações visuais. Certas informações simplesmente têm menos importância relativa do que outras no processamento visual normal. Essas informações são ditas psicovisualmente redundantes. O segundo tipo de redundância (interpixel) está diretamente relacionado às correlações interpixels dentro de uma imagem. Como o valor de qualquer pixel pode ser

razoavelmente previsível a partir do valor de seus vizinhos, a informação carregada por cada pixel é relativamente pequena. Por último, a redundância de codificação, baseada no princípio fundamental de utilizar códigos grandes nos valores menos prováveis de ocorrerem e códigos pequenos nos valores mais prováveis de ocorrerem.

Para reduzir ou eliminar os três tipos de redundância é necessário realizar um processo com três operações independentes, como mostrado na Figura 2.3 [3].

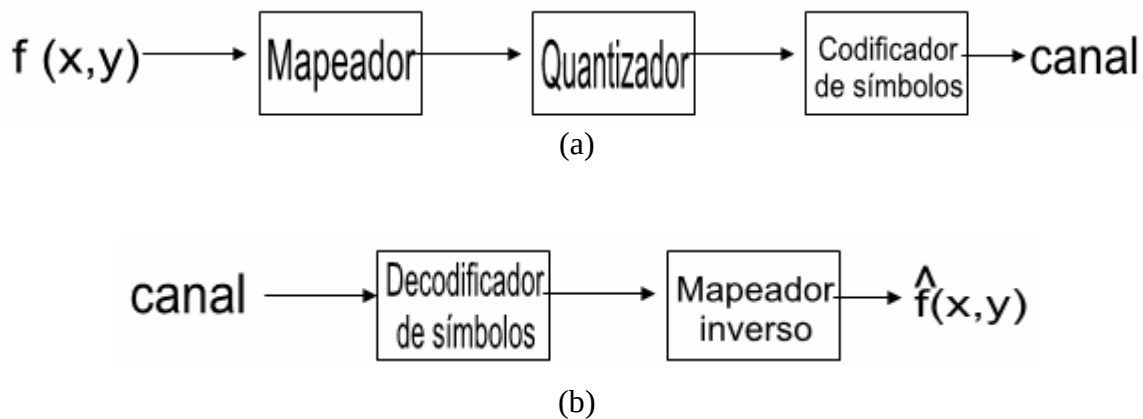


Figura 2-3 – Modelos. (a) Codificador fonte; (b) decodificador fonte.

A primeira operação do processo de codificação fonte é o *mapeador*. Ele transforma a imagem em uma matriz de coeficientes, tornando suas redundâncias interpixels mais acessíveis para a compressão nas funções posteriores neste processo. Essa função é um processo reversível.

A segunda função, ou o bloco *quantizador* no codificador fonte, reduz as redundâncias psicovisuais da imagem de entrada. Essa função é irreversível, por isso quando se desejar realizar uma compressão livre de erro, deve-se omitir tal função nesse processo.

A última função do processo de codificação fonte é o *codificador de símbolos*. Nele cria-se um código de comprimento fixo ou variável. Normalmente, utiliza-se um comprimento variável, pois se atribui um menor código para os valores que ocorrem mais freqüentemente. Neste trabalho, não se entra em detalhes sobre o codificador e decodificador de canal, porque não é objetivo desta dissertação.

2.3 Compressão Livre de Erros

A compressão livre de erros é considerada muito importante atualmente, pois cresce a necessidade de redução de dados livres de erros. A maior aplicação hoje em dia é o arquivamento e a visualização de documentos e imagens médicas, em que a compressão com perdas é proibida por razões legais [3], além de que, alguma perda poderá comprometer a precisão de um diagnóstico médico.

Nesta seção, serão apresentadas as principais estratégias de compressão livre de erro que são utilizadas atualmente. Elas normalmente apresentam taxas de compressão entre 2 e 10 [3]. Elas podem ser aplicáveis em imagens com níveis de cinza ou binárias. Como já foi dito anteriormente, as técnicas de compressão livre de erros são compostas de duas das três funções citadas na Seção 2.2.1 deste capítulo. São elas: definição de uma imagem que retrata a imagem original sem as redundâncias interpixels, e a outra, um código que a representa, eliminando a redundância de codificação.

2.4 Compressão com Perdas

A compressão com perdas é diferente da compressão sem perdas, em termos de comprometimento da precisão da imagem reconstituída em relação a um aumento da compressão. Por exemplo, se a distorção (visualmente aparente ou não) não compromete a visualização da mesma para uma determinada aplicação, ou seja, se esse nível de distorção pode ser tolerado, a imagem pode ser muito mais comprimida, aumentando a taxa de compressão. Para isso, existem técnicas de compressão com perdas que podem reproduzir imagens monocromáticas reconhecíveis, imagens visualmente distinguíveis, que foram comprimidas em uma escala de 30:1. Esse tipo de técnica pode ser muito utilizado em imagens que não existe necessidade de se manter os detalhes da imagem original, ou seja, não existe importância se na reconstrução perder alguns detalhes da imagem original, pois a taxa de compressão entre esses dois tipos de técnicas é muito significativa.

Para a realização da técnica de compressão com perdas, faz-se o uso das três funções citadas no item 2.3.1 deste capítulo, incluindo a função *quantizador*, que não é utilizada na compressão sem perdas [3].

2.5 Compressão de Imagens Estáticas Monocromática e Colorida

A padronização JPEG define três tipos de sistemas de codificação: (1) um *sistema de codificação “linha-base”*, com perdas, que baseia na transformada cosseno discreta (DCT) e é adequado para quase todos os tipos de compressão; (2) um *sistema de codificação estendido* para aplicações de maior precisão, maior compressão e de reconstrução progressiva; e (3) um *sistema de codificação independente* sem perdas para

compressão reversível [3]. Neste trabalho utiliza-se o *sistema de codificação “linha-base”*

2.5.1 Modelo de Compressão JPEG

O modelo de compressão JPEG é o mais utilizado no mundo para realizar compressão de imagens. Esse modelo é o ponto central deste trabalho. O processo de compressão JPEG é composto por três etapas [4, 5], como mostrado na Figura 2.4. Essas etapas são: Transformada Discreta Cosseno Direta (FDCT), quantização dos coeficientes DCT's e codificação de entropia. A Figura 2.5 ilustra as etapas do processo inverso ou descompressão: decodificação de entropia, dequantização e Transformada Discreta Cosseno Inversa (IDCT).

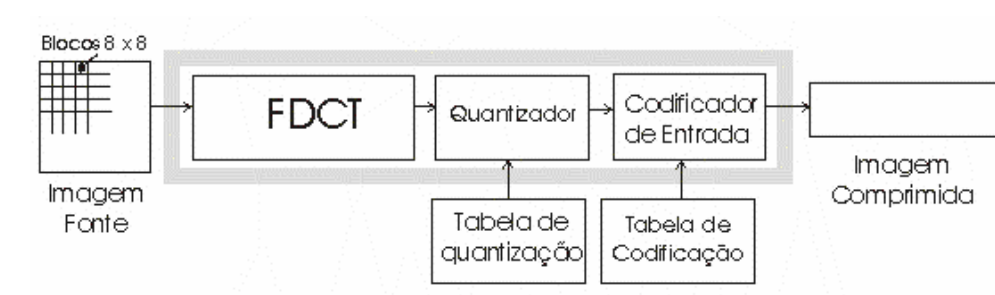


Figura 2-4 - Codificador simplificado JPEG.

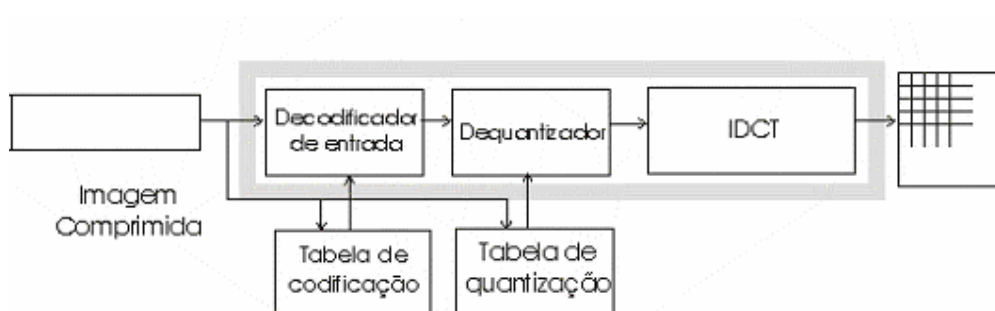


Figura 2-5 - Decodificador simplificado JPEG.

É importante lembrar que neste trabalho a etapa 3 (no codificador), e etapa 1 (no decodificador) não foram realizadas, ou seja, não foram atribuídos códigos a essas informações. Pois o interesse desta dissertação é a geração de tabelas de quantização mais robustas a ruídos de quantização.

No codificador JPEG, primeiramente a imagem é subdividida em blocos 8x8, com isso, gera-se subimagens de 64 pixels⁶. Os blocos divididos são processados da esquerda para a direita, de cima para baixo. Cada pixel, dos 64 pixels de uma certa subimagem têm seus valores deslocados, sendo subtraídos pela metade do valor do maior nível de cinza, isto é, $2^{(n-1)}$ [3].

Na etapa seguinte, é aplicado uma FDCT bidimensional (2-D⁷) em cada um desses blocos (subimagens). Depois disso, os 64 coeficientes DCT são quantizados com uma tabela de quantização de 64 coeficientes, em que a operação de quantização é implementada como uma divisão de cada coeficiente DCT pelo seu correspondente coeficiente da tabela de quantização; posteriormente é aproximado para o inteiro mais próximo [6].

O codificador JPEG base permite os usuários redefinir a tabela de quantização para controlar a taxa de compressão e a qualidade da imagem reconstruída. Métodos para determinar as tabelas de quantização são usualmente baseados na teoria da distorção da taxa. Esses métodos atingem melhor performance que as tabelas do JPEG. Entretanto, as tabelas de quantização são dependentes da imagem e da complexidade dos codificadores significativamente [5, 6, 7, 8].

⁶ Menor elemento de uma imagem.

⁷ Transformada Discreta Cosseno Direta em Duas Dimensões.

As imagens em escala de cinza são formadas por pixels cujos valores representam a quantidade de brilho nelas. Para imagens coloridas são necessários três valores para especificar as características de um pixel. No modelo de cor (YCbCr) luminância (componente Y), cromaância azul (componente Cb) e cromaância vermelha (componente Cr). Essas componentes são utilizadas no método de codificação do algoritmo JPEG. Se a imagem é codificada usando o modelo RGB, então ele deverá ser transformado para o modelo YCbCr. A luminância e a cromaância das imagens são representadas por 8 bits/pixel, com valores, que variam de 0 a 255, em outras palavras, 256 níveis de cinza são possíveis.

O modelo de compressão JPEG utiliza tabelas de quantização padrão. Essas tabelas são divididas em dois tipos: a primeira para a componente Y (luminância), mostrada na Tabela 2.1 e uma outra para as componentes Cb e Cr (cromaância b e r), ilustrada na Tabela 2.2, onde utiliza-se a mesma tabela de quantização para essas duas componentes.

Tabela 2-1 - Tabela de quantização para luminância do padrão JPEG.

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Tabela 2-2 - Tabela de quantização para crominâncias (Cb e Cr) do padrão JPEG.

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

2.6 Artefatos de Bloqueamento

Existem três tipos de artefatos de bloqueamento, o artefato de bloco ou *blockiness*, o *ringing* e o *blur* [9], mostrado na Figura 2.6. O primeiro artefato de bloqueamento, o *blockiness*, é definido como uma irregularidade em uma região considerada homogênea, onde esta irregularidade causa uma troca abrupta entre os valores dos pixels vizinhos. O segundo artefato, o *ringing*, é visualizado como um serrilhamento (dentes) onde originalmente era uma região não homogênea, mas com a troca abrupta entre os pixels vizinhos formava uma fronteira retilínea; e por último, o *blur*, que é visualizado como um borramento em uma região originalmente bem definida.

Será estudado neste trabalho dois dos três artefatos de bloqueamento citados acima, o *blockiness* e o *ringing*.

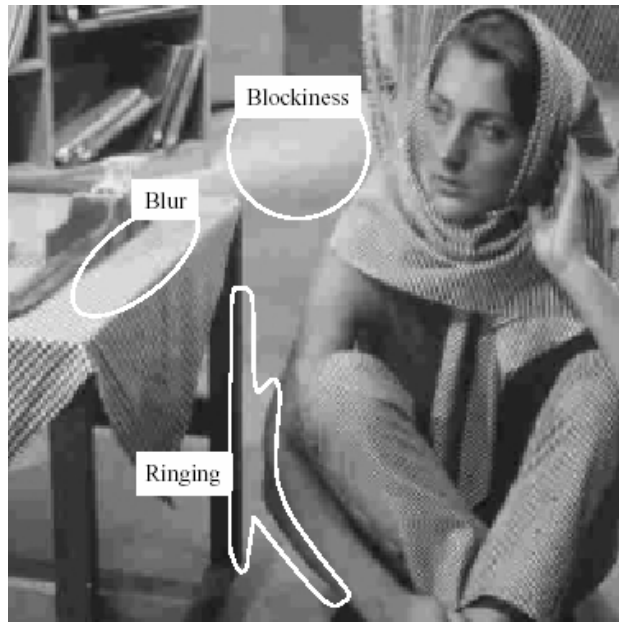


Figura 2-6 - Artefatos de bloqueamento. blockiness, ringing e blur .

2.7 Considerações Finais deste Capítulo

Este capítulo apresentou a fundamentação teórica dos temas predominantes da primeira parte desta dissertação. Inicialmente foi introduzido o fundamento de cores, os sistemas de cores utilizados (RGB e YCbCr), depois a técnica de compressão JPEG e conceitos de artefatos de blocos.

CAPÍTULO 3

ARQUITETURA PROPOSTA

O objetivo deste capítulo é descrever a arquitetura proposta no trabalho. Inicialmente é apresentada uma introdução sob algoritmos genéticos e como eles funcionam. Depois é mostrada a métrica de artefato de bloqueamento utilizada nesta dissertação. Finalmente, são realizadas as considerações finais sobre esse capítulo.

A Figura 3.1 mostra o processo de compressão do padrão JPEG e da arquitetura proposta neste trabalho. Nessa figura, a FDCT é aplicada em três matrizes (YCbCr), depois utiliza-se a tabela de quantização, gerada pelo Algoritmo Genético AG, realiza-se nessa etapa a quantização das subimagens.

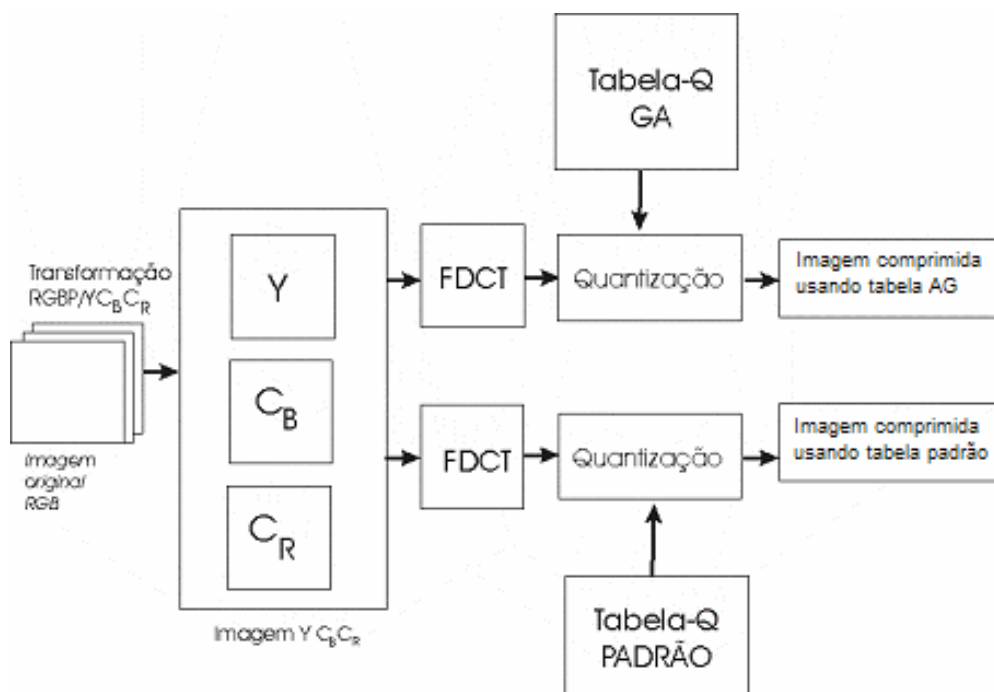


Figura 3-1 - Arquitetura do sistema de compressão proposto e padrão JPEG.

Neste trabalho são utilizadas dois tipos de tabelas de quantização: a tabela de quantização para luminância e a tabela de quantização para as crominâncias, referenciadas essas duas com as tabelas são as Tabela 2.1 e 2.2, respectivamente.

Após a quantização dos coeficientes DCT's são realizadas as seguintes operações: separação do coeficiente dc dos coeficientes ac, reorganização dos coeficientes usando a seqüência zig-zag, que pode ser visualizada na Figura 3.2, e a codificação de entropia, que não é considerada neste trabalho.

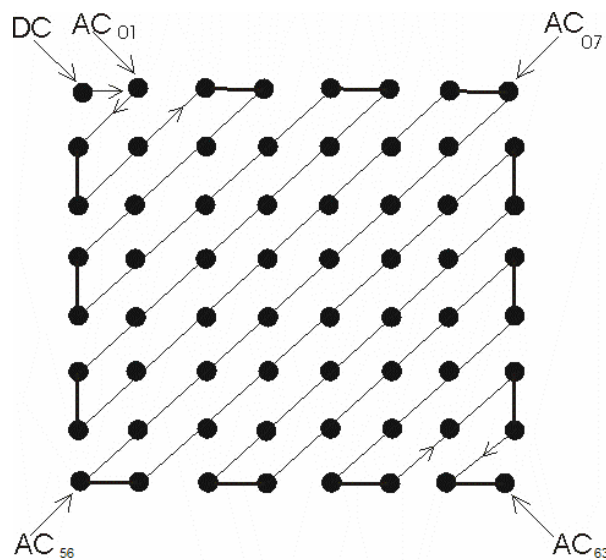


Figura 3-2 - Algoritmo zig - zag.

A seqüência (zig-zag) é qualitativamente arranjada de acordo com a freqüência espacial crescente. O objetivo é encontrar uma tabela de quantização mais eficiente que a tabela de quantização utilizada pelo padrão JPEG e encontrar uma nova tabela de quantização padrão para o Algoritmo Genético, baseada em três imagens selecionadas.

3.1 Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos (AG) são algoritmos de pesquisa [8] que são baseados no mecanismo de reprodução, ou seja, na combinação genética e na seleção natural. Esse tipo de algoritmo procura por uma otimização de um ou vários pontos. O dado do AG é obtido de uma população de pontos, não de um único ponto; ele também faz uso de uma variedade de regras probabilísticas de decisões. Os indivíduos que são qualificados (adaptativos na natureza) têm melhor probabilidade de sobreviver e seus descendentes supostamente possuem um *fitness* maior. Com essa idéia, pode-se concluir que a evolução dos indivíduos está na direção ótima.

3.1.1 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos são as operações responsáveis pela modificação dos genes de cada uma das estruturas, são eles os responsáveis pela variação genética na população. Neste trabalho são utilizados dois operadores genéticos: *crossover* e *mutação*.

O *crossover* é responsável pela alteração genética entre dois cromossomos, havendo uma troca entre suas informações genéticas. O operador mutação é responsável por uma convergência de resultados, ao contrário do *crossover*, ela não realiza troca de informação genética com outros cromossomos, ela apenas inverte algumas informações (estados, bits ou genes) de um determinado cromossomo [8].

3.2 Algoritmo Genético Proposto

Nesta seção é explicado melhor o funcionamento dos Algoritmos Genéticos, e principalmente o funcionamento do algoritmo genético proposto.

O algoritmo desenvolvido neste trabalho é baseado na teoria de AG. Ele é composto de 8 parâmetros iniciais, sendo 7 para o algoritmo genético e 2 para a métrica de artefato de bloqueamento. Os 7 primeiros parâmetros são:

- número de cromossomos (pop) de uma determinada população;
- número de gerações;
- imagem original;
- taxa de crossover (px);
- taxa de mutação (pm);
- taxa de compressão (bpp);
- relação sinal ruído de pico (PSNR).

Dois dos sete parâmetros iniciais são fixos, a taxa de *crossover* e de mutação, com valores típicos de 0,6 e 0,1, respectivamente.

Se o número de cromossomos é 16, o algoritmo gera aleatoriamente 16 tabelas de quantização, lembrando que na população inicial está contida a tabela de quantização do padrão JPEG. Essas mesmas 16 tabelas de quantização são introduzidas em um grupo e submetidas à ação dos operadores genéticos (crossover e mutação). Em outras palavras, eles competirão entre si para representar a melhor tabela de quantização.

Então, um grupo de 16 tabelas de coeficientes normalizados é criado dividindo os coeficientes DCT's pelos coeficientes correspondentes das 16 tabelas de quantização.

Dois vetores de 16 posições são criados e seus componentes são os coeficientes erro médio quadrático (MSE) e relação sinal ruído de pico (PSNR), entre as amostras da imagem reconstruída e da imagem original. Os valores de MSE e PSNR são calculados usando as Equações 3.1 e 3.2, respectivamente.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left(x_{i,j} - \hat{x}_{i,j} \right)^2 \quad (3.1)$$

onde:

M – número de linhas da imagem.

N – número de colunas da imagem.

$$PSNR = 10 * \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \text{ dB} \quad (3.2)$$

A evolução da população é baseada em uma função aptidão, que é criada pela multiplicação dos valores da PSNR (aptSNR) pelo coeficiente dc (aptDC). Ambos valores são da mesma tabela de quantização. Isto é necessário para encontrar a aptidão total da população, que pode ser determinada pela soma das aptidões individuais.

Com isso, a função probabilidade pode estabelecer qual string será escolhida. Esta função é obtida pela Equação 3.3.

$$prob(i) = \frac{apt(i)}{\sum_{i=1}^{pop} apt(i)} \quad (3.3)$$

O vetor probabilidade $prob(i)$ possui 16 valores. Com esse vetor é possível encontrar a probabilidade acumulada $CS(i)$, que é obtida para cada indivíduo, somando a probabilidade individual dos membros até o índice i , como mostrado na Equação 3.4.

$$CS(i) = \sum_{k=1}^i prob(k) \quad (3.4)$$

Um número randômico, obtido de uma variável aleatória T com função densidade probabilidade uniforme distribuída no intervalo de $[0,1]$, é gerado pop vezes, ou seja, um valor para cada cromossomo. Com o valor de T , aplica-se a regra de decisão: se $CS(i-1) < T < CS(i)$, a string i é selecionada. Esse procedimento é chamado método da roleta, onde a área da roleta é dividida em pop possibilidades, para pop cromossomos; a amplitude de cada possibilidade do mesmo ser selecionado é determinada pela função aptidão de cada indivíduo. O desenvolvimento do algoritmo gera um arranjo de células seleção dos pais (SP) de dimensão $pop \times 1$, onde em cada célula criada existe uma tabela de 8×8 pixels. Algumas dessas células são submetidas ao método da roleta [8].

3.2.1 Seleção Natural

O Algoritmo Genético (AG) é basicamente composto por uma população inicial, operadores genéticos aplicados para produzir uma nova população e seleção natural dos *fitness* dos cromossomos dessas populações. Em outras palavras, AG pode ser explicado através dos seguintes passos:

Passo 1 - a população de possíveis soluções são inicializadas;

Passo 2 - a população gerada é avaliada;

Passo 3 - os pais são selecionados para gerar a nova população;

Passo 4 - os pais são recombinaados dois a dois (operação de *crossover*) gerando a nova população;

Passo 5 - a nova população sofre a operação de mutação;

Passo 6 - a nova população compete com os pais pela sobrevivência;

Passo 7 - se o critério de parada do algoritmo é alcançado, então termina o algoritmo, se não, retorna ao passo 2.

O estágio de seleção natural é baseado na função de aptidão, que consiste basicamente em selecionar as melhores tabelas para fazer parte dos próximos estágios do algoritmo.

O primeiro passo para produzir a nova população é gerar um valor aleatório para selecionar qual string ou cromossomo será escolhido como uma das duas entradas da operação genética *crossover*; esse passo é executado novamente para selecionar a segunda string para fazer par com a primeira selecionada. Esse processo é repetido até que $pop/2$ pares de cromossomos sejam obtidos. Para cada par de cromossomos a operação genética *crossover* é empregada, se $p_x > P_{cruz}$, assim o *crossover* será

executado entre o par de cromossomos selecionado, onde p_x é a taxa de *crossover* e P_{cruz} é o valor aleatório gerado para cada par de cromossomos.

A operação *crossover* é implementada pela troca de genes entre os pares de cromossomos iniciando de uma posição qualquer. Esta posição do cromossomo é escolhida aleatoriamente. Selecionada duas linhas e duas colunas de um cromossomo (entre um par de cromossomos), a informação genética dessa região delimitada pelas duas linhas e as duas colunas, é trocada entre o par de cromossomos. As Figuras 3.3 a 3.7 mostram a operação de *crossover*.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3-3 - Cromossomo pai 1.

2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2

Figura 3-4 - Cromossomo pai 2.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3-5 - Cromossomo pai 1 com as linhas e as colunas seleccionadas para o crossover.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3-6 - Cromossomo filho 1.

2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	1	1	1	2	2	2
2	2	1	1	1	2	2	2
2	2	1	1	1	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2

Figura 3-7 - Cromossomo filho 2.

Depois da operação *crossover*, é gerado um valor aleatório para cada um dos cromossomos para selecionar quais serão modificados pela operação *mutação*. O valor adotado para a taxa de mutação (p_m) é de 0,1, então é gerado para cada string da população selecionada e também para cada gene dentro dessas strings um número aleatório (P_{mut}) no intervalo $[0,1]$, se $p_m > P_{mut}$ o gene em questão é trocado, como se vê nas Figura 3.8 e 3.9.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3-8 - Seleção do (s) gene (s) para a mutação no cromossomo filho 1.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	2	2	2	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3-9 - Mutação realizada no cromossomo filho 1.

A mutação para os outros cromossomos filhos é realizada da mesma maneira. No final da operação mutação, é gerado um vetor de 16 posições e uma tabela em cada posição seleção dos filhos (SF), onde cada tabela é formada por uma matriz 8 x 8, com 64 coeficientes que são postos em uma ordem específica (zig-zag) [4]. Então o processo de compressão JPEG inicia usando novas tabelas geradas.

Baseado nas novas tabelas, são calculados novos valores para MSE (SMSE é um valor MSE quando o AG utilizou essas novas tabelas) e para PSNR (SSNR é um valor PSNR quando o AG utilizou essas novas tabelas). Com SMSE e SSNR calculados, a nova função aptidão é encontrada (aptSSNR). Essa função é composta por um vetor de 16 posições. Um novo vetor de 16 posições (aptSDC) é formado com os coeficientes dc de cada tabela. Multiplicando pelo inverso da taxa de bits por pixel (bpp) encontrada, onde essa foi encontrada pelo mesmo método utilizado pelo JPEG padrão. A Equação 3.5 mostra a função responsável pela seleção de uma string.

$$S_{apt}(i) = aptSSNR(i) * aptSDC(i) * \frac{1}{bpp} \quad (3.5)$$

Após a comparação dos coeficientes $S_{apt}(i)$ na tabela de seleção dos pais (SP) e na tabela SF (a seleção dos filhos), a tabela que tiver o maior valor de $S_{apt}(i)$ é selecionada como a melhor tabela para ser utilizada como a tabela de quantização. Todo esse processo é mostrado na Figura 3.10.

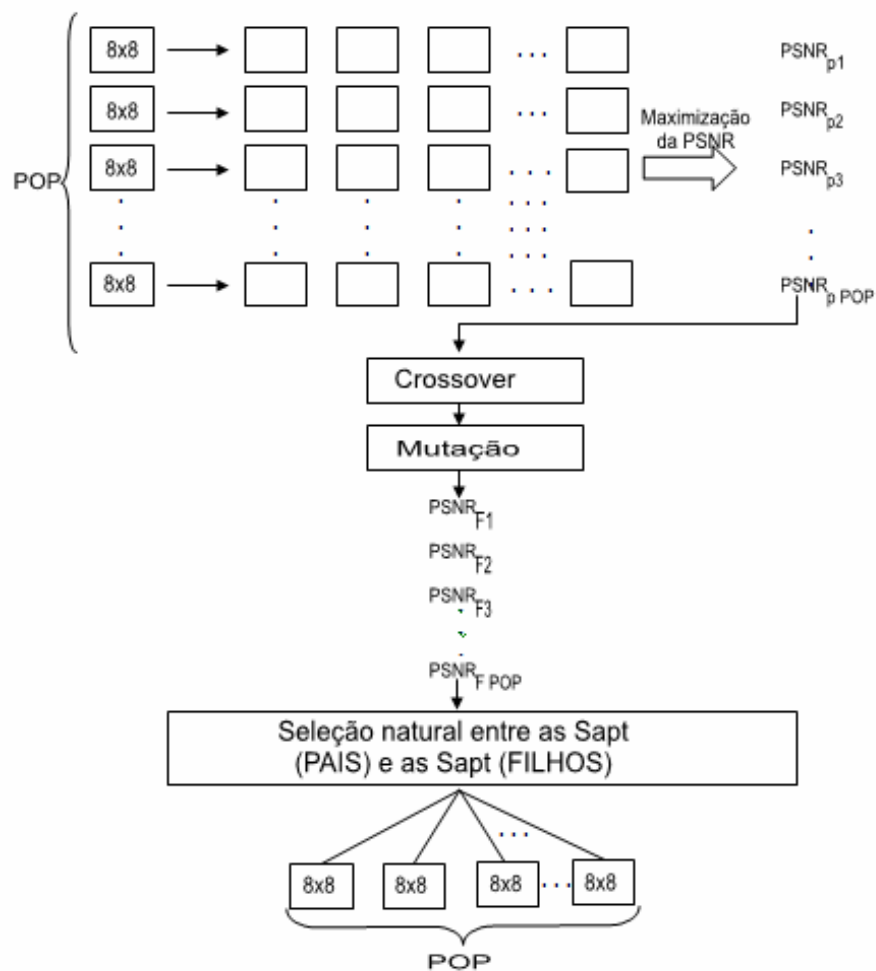


Figura 3-10 - Processos do algoritmo genético proposto.

A Figura 3.11 mostra o fluxograma do algoritmo desenvolvido neste trabalho.

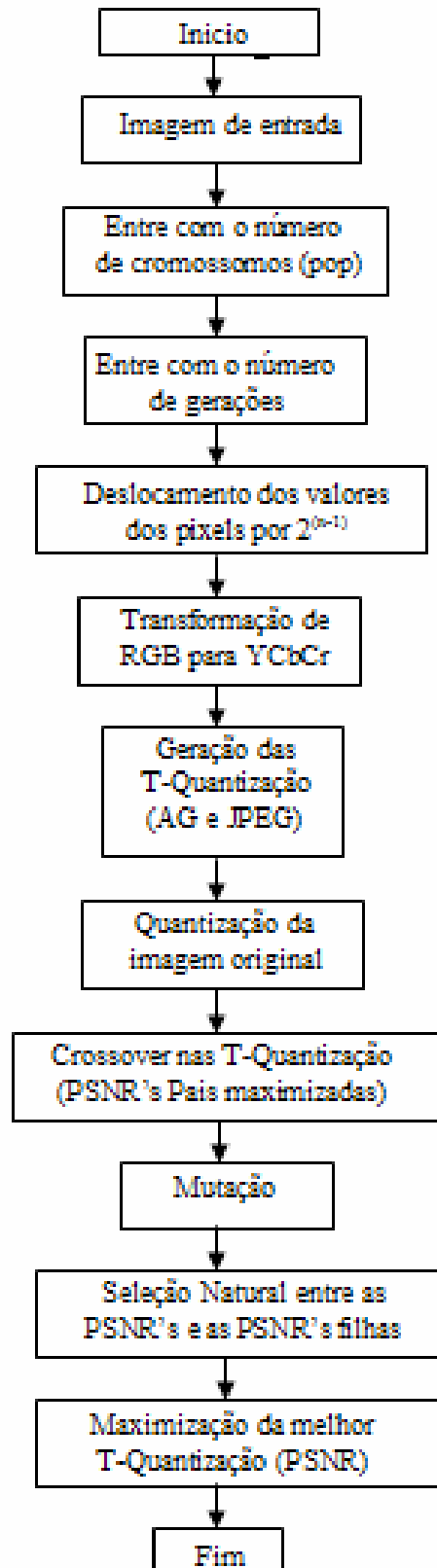


Figura 3-11 - Fluxograma do algoritmo genético proposto.

3.3 Métrica do Artefato de Bloqueamento

O efeito de bloco é um efeito típico em imagens reconstruídas codificadas utilizando os coeficientes da transformada discreta cosseno (DCT). Em imagens e vídeos altamente comprimidos, o efeito de blocos é facilmente notado pela descontinuidade entre regiões relativamente homogêneas [19].

Os blocos da transformada discreta cosseno (B-DCT) têm sido utilizados na maioria dos padrões de compressão de imagens e vídeos, incluindo JPEG [5] e MPEG [6], porque elas apresentam três vantagens: boa compactação de energia; baixo custo computacional e fácil implementação do Hardware [7]. O esquema B-DCT usa a vantagem da propriedade da correlação espacial das imagens para dividi-las em blocos 8 x 8, transformando cada bloco do domínio espacial para o domínio da frequência usando a transformada discreta cosseno (DCT). O efeito de bloco está localizado nas bordas das imagens, onde localizam-se as componentes de maior frequência da imagem [12].

Para uma codificação usando B-DCT, os coeficientes DCT de alta frequência tendem a ser removidos por causa da quantização grosseira de altas frequências durante a codificação. Blocos 8 x 8 são codificados independentemente, a imagem reconstruída pode gerar descontinuidade ao longo das fronteiras dos blocos, isso é referenciado como artefato de bloco.

Muitos algoritmos têm sido propostos para reduzir os artefatos de blocos. Esses algoritmos podem ser agrupados em duas categorias. Uma é o uso de diferentes esquemas de codificação, como a transformada interleaved block [10,12], a transformada lapped [11,12] e a transformada combinada [13]. A outra, um pós-processamento da imagem reconstruída [14 – 18].

A métrica proposta neste trabalho está incluída na primeira categoria citada. Atualmente, a diminuição desse efeito é muito importante porque cada vez mais existe necessidade de que a imagem reconstruída seja igual à imagem original. Isso porque essas imagens podem ser utilizadas em diagnósticos médicos, onde é necessário uma precisão e uma visualização muito boa da imagem reconstruída.

3.3.1 A métrica

A métrica de artefato de bloqueamento utilizada neste trabalho na evolução das imagens reconstruídas. A métrica é derivada de 2 N pontos de coeficientes DCT (1-D) de um par de bloco típico com artefato de bloqueamento. Os artefatos de bloqueamento verticais (BAV_v) são similares aos artefatos de bloqueamento horizontais (BAV_h). O valor do artefato de bloqueamento final (BAV) é a soma do BAV_h e do BAV_v.

3.3.2 Análise da frequência do artefato de bloqueamento

As Figuras 3.12 e 3.13 mostram um exemplo de dois blocos vizinhos da DCT formando um artefato de bloqueamento na vertical e um artefato de bloqueamento na horizontal, respectivamente.

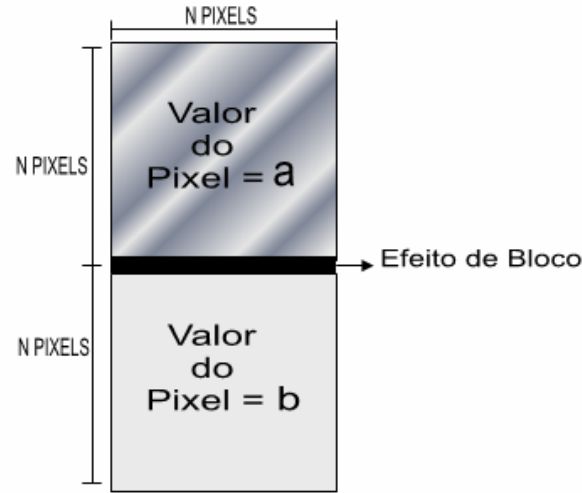


Figura 3-12 - Artefato de bloqueamento na horizontal.

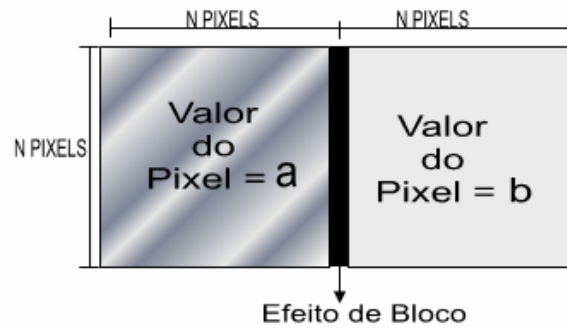


Figura 3-13 - Artefato de bloqueamento na vertical.

Cada um dos dois blocos vizinhos da DCT formando um artefato de bloqueamento possui valores de pixels uniformes e uma troca abrupta ocorre no cruzamento da fronteira entre os blocos. A Figura 3.14 mostra uma seqüência combinada $z(n)$ 1-D de $2N$ pontos ($N = 8$), na vertical, $0 \leq n < 2N$, que é obtida pela concatenação de N pontos da primeira linha do bloco, $x(m)$, $0 \leq m < N$, e N pontos da mesma coluna, do bloco direito, $y(m)$, $0 \leq m < N$. O cálculo dos valores do vetor

$z(K)$, $0 \leq K < 2N$, é obtido através da transformada DCT de $2N$ pontos de $z(n)$. A

Figura 3.15 mostra uma sequência combinada $z(n)$ na horizontal.

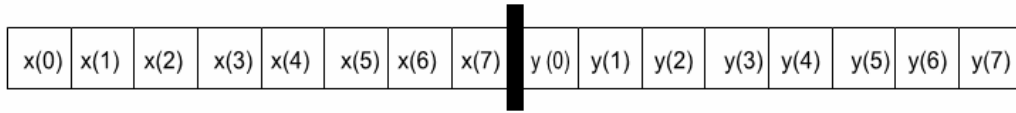


Figura 3-14 - Sequência combinada $z(n)$ na vertical.

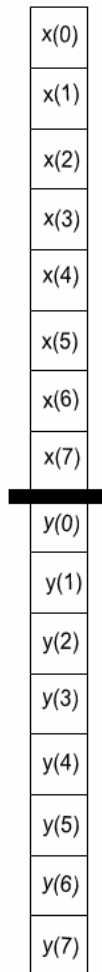


Figura 3-15 - Sequência combinada $z(n)$ na horizontal.

Quando a taxa de compressão não é muito alta ou é introduzido ruído, pode existir uma pequena variação dentro de cada bloco. Neste caso, $z(n)$ pode ser modelada pela Equação 3.6:

$$z(n) = \begin{cases} a + \Delta_a(n) & |\Delta_a(n)| \subseteq T_a, \quad 0 \leq n < N \\ b + \Delta_b(n - N) & |\Delta_b(n - N)| \subseteq T_b, \quad N \leq n < 2N \end{cases} \quad (3.6)$$

onde:

a – valor médio de N pontos de $x(m)$.

b – valor médio de N pontos de $y(m)$.

T_a – limite superior de $\Delta_a(m)$.

T_b – limite superior de $\Delta_b(m)$.

A análise sugere que $Z(1)$ pode ser um bom indicador para o tamanho do artefato de bloqueamento, porque ele é proporcional à troca abrupta entre $x(m)$ e $y(m)$. Os valores de $Z(1)$ são encontrados pela Equação 3.7 [19].

$$Z(1) = \frac{a - b}{2\sqrt{N} \sin\left(\frac{\pi}{4N}\right)} + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} \Delta_a(m) \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{4N}\right) + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{m=0}^{N-1} \Delta_b(m) \cos\left(\frac{(2m+1)\pi}{4N} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.7)$$

O primeiro termo da Equação 3.7, chamado $Z_{a-b}(1)$, é a contribuição da troca abrupta (a-b) para $Z(1)$. O segundo termo, determinado $Z_{\Delta a}(1)$, representa a contribuição de $\Delta_a(m)$, e o último termo, chamado $Z_{\Delta b}(1)$ é a contribuição de $\Delta_b(m)$.

A Equação 3.8 representa $|Z_{\Delta a}(1)|$.

$$|Z_{\Delta a}(1)| \subseteq \frac{1}{\sqrt{N}} \left[\sum_{m=0}^{\frac{N-1}{2}} T_a \cos \frac{(2m-1)}{4N} - \sum_{m=\frac{N}{2}}^{N-1} T_a \cos \frac{(2m-1)}{4N} \right] \quad (3.8)$$

A Equação 3.8 pode ser simplificada pela Equação 3.9:

$$|Z_{\Delta a}(1)| \subseteq \frac{(\sqrt{2}-1)T_a}{2\sqrt{N} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4N}\right)} \quad (3.9)$$

Similarmente, pode-se provar que $|Z_{\Delta b}(1)|$ é simplificado pela Equação 3.10.

$$|Z_{\Delta b}(1)| \subseteq \frac{(\sqrt{2}-1)T_b}{2\sqrt{N} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{4N}\right)} \quad (3.10)$$

Baseado nas Equações 3.9 e 3.10, a contribuição total de $\Delta_a(m)$ e $\Delta_b(m)$ é limitada pela Equação 3.11 [19].

$$|Z_{\Delta a}(1) + Z_{\Delta b}(1)| \leq \frac{(\sqrt{2} - 1)(T_a + T_b)}{2\sqrt{N} \sin\left(\frac{\pi}{4N}\right)} \quad (3.11)$$

Entretanto, é possível concluir a partir das Equações 3.7 e 3.11 que a contribuição de $\Delta_a(m)$ e $\Delta_b(m)$ pode ser ignorada quando as condições da Equação 3.12 são satisfeitas.

$$|a - b| \gg (\sqrt{2} - 1)(T_a + T_b) \quad (3.12)$$

A Equação 3.12 mostra que quando a pequena variação dentro de cada bloco é bem pequena em relação aos coeficientes dc's, $Z(1)$ é um bom indicador para o tamanho do artefato de bloqueamento. O limiar para $\gg$ deve obedecer a seguinte regra, a soma do segundo termo mais o terceiro da Equação 3.7, deve ser desprezível perto do primeiro termo [19].

3.3.3 Métrica proposta para artefato de bloqueamento para imagens reconstruídas.

Segundo Wenfeng [19], foi utilizado neste trabalho uma métrica para a avaliação do artefato de bloqueamento para imagens reconstruídas [19]. Essa métrica é:

1. Encontrar os pares de blocos na horizontal que satisfaçam a equação 3.12.
2. Se $|a - b| > 2 * QP$, não realizar o processo desse par blocos, pois a fronteira deve conter uma borda forte. QP é o parâmetro de quantização do H.263 [20].
3. Para todos os outros pares de blocos horizontais, considerar seus primeiros coeficientes DCT's $Z_i(1)$, que reflete o tamanho do artefato de bloqueamento.
4. O valor do artefato de bloqueamento horizontal (BAV_h) é obtido pela Equação 3.13.

$$BAV_h = 2\sqrt{N} \sin\left(\frac{\pi}{4N}\right) \sqrt{\frac{\sum_i Z_i^2(1)}{\text{tamanho_da_imagem}}} \quad (3.13)$$

Onde:

tamanho_da_imagem - produto do comprimento e da largura da imagem.

5. Considerar o valor do artefato de bloqueamento vertical (BAV_v) de forma similar a do BAV_h. O BAV total é a média entre os valores de BAV_h e BAV_v. O maior resultado é o pior artefato de bloqueamento.

O passo 1 garante que a diferença entre as médias a e b dos blocos (N pontos) vizinhos é bem maior do que a soma de $Z_{\Delta a}(1)$ e $Z_{\Delta b}(1)$, que representa a contribuição da troca abrupta de $\Delta_a(m)$ e $\Delta_b(m)$, respectivamente.

O passo 2 limita a troca abrupta dos valores dos pixels vizinhos, já que a mesma, não é considerada um artefato de bloqueamento. São considerados artefatos de bloqueamento trocas abruptas em uma região considerada homogênea. Onde o passo 1 representa o limite inferior e o passo 2 o limite superior, os valores dos pixels que se encontram nessa faixa estabelecida são considerados artefato de bloqueamento. Com isso, garante-se que se ocorrer uma troca abrupta dos valores dos pixels, essa troca foi realizada em uma região homogênea. Os passos 1 e 2 estabelecem o que é e o que não é considerado artefato de bloqueamento.

Os passos 3, 4 e 5 somente realizam os processamentos dos valores pré-determinados como artefato de bloqueamento pelos passos 1 e 2. O passo 3 encontra os primeiros coeficientes DCT's $Z_i(1)$ dos valores selecionados. O passo 4 realiza o cálculo do BAV_h . O passo 5 indica que o valor do artefato de bloqueamento total é média do BAV_h e do BAV_v , calculado pela Equação 3.14. A Figura 3.16 mostra o fluxograma da métrica proposta neste trabalho.

$$BAV_T = \frac{BAV_h + BAV_v}{2} \quad (3.14)$$

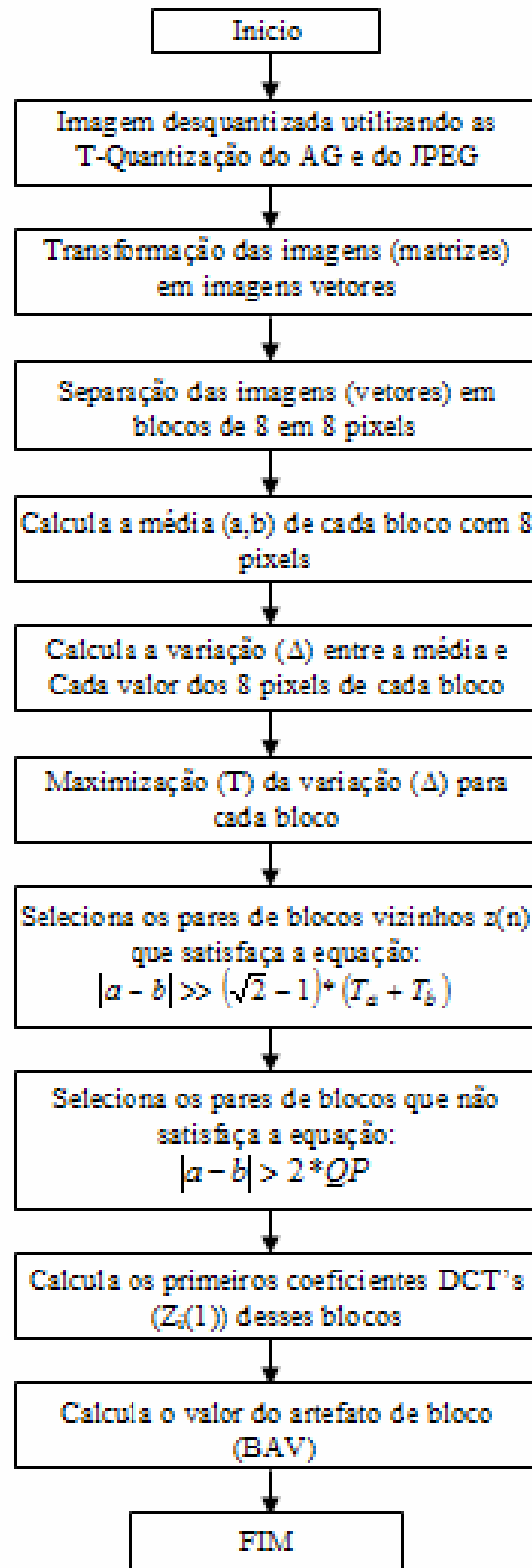


Figura 3-16 - Fluxograma da métrica proposta.

Neste trabalho, no cálculo do BAV_v, a imagem reconstruída (matriz 256 x 256) foi transformada em um vetor 1 x 65536, para encontrar os valores de x(m) e y(m), onde cada um desses valores é composto por 8 pixels. Os 8 primeiros pixels são x(m) e os 8 próximos são y(m). Dessa maneira foram encontrados esses valores para toda a imagem. Depois disso, foi feita a média de cada valor de x(m) e y(m), denominando cada média vizinha dessa de a e b.

A partir dos valores encontrados x(m) e y(m), calcula-se $\Delta_a(m)$ e $\Delta_b(m)$, que é a diferença entre os valores de cada x(m) e y(m) e suas respectivas médias a e b. Depois dessa etapa encontra-se T_a e T_b , que são a maximização dos valores de $\Delta_a(m)$ e de $\Delta_b(m)$, ou seja, T_a e T_b é o maior valor entre as médias a e b e seus correspondentes valores de x(m) e y(m).

Os blocos z(n) são encontrados, somando-se o valor de cada média a com suas pequenas variações $\Delta_a(m)$ e da média b com as suas $\Delta_b(m)$. Esses blocos z(n) são avaliados par a par. Selecionados os pares de blocos Z(n) pela equação 3.12, os mesmos analisados utilizando a equação $|a - b| > 2 * QP$, para garantir que ocorreu uma mudança abrupta do valor do pixel em uma região relativamente homogênea. Os blocos selecionados são aplicados como entrada na Equação 3.7, para encontrar os primeiros coeficientes DCT's, que refletem o valor do artefato de bloqueamento. E por último, é realizado o cálculo do artefato de bloqueamento horizontal total utilizando a Equação 3.13. O artefato de bloqueamento vertical total é realizado de maneira similar.

3.4 Considerações finais deste capítulo

Neste capítulo inicialmente foi apresentado uma introdução de Algoritmos Genéticos e como eles funcionam. Finalmente foi mostrado a métrica de artefato de bloqueamento utilizada nesta dissertação.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Introdução

A implementação do algoritmo desenvolvido neste trabalho foi feita utilizando-se a linguagem de programação Matlab e um notebook Toshiba, processador Celeron, 2,4 GHz e 512 de RAM.

Inicialmente, elaborou-se um programa baseado em algoritmos genéticos para encontrar tabelas de quantização para se aplicar ao algoritmo de compressão baseado no padrão JPEG. Onde a tabela padrão do JPEG estava entre as tabelas iniciais do programa, denominadas, população inicial, para garantir que a tabela padrão JPEG também seria testada e teria a possibilidade de ser selecionada para ser a melhor tabela de quantização gerada pelo algoritmo genético.

O teste de seleção das melhores tabelas de quantização foi feito da seguinte maneira: as três imagens serão quantizadas, cada uma três vezes, uma com a sua tabela de quantização e outras duas com as tabelas de quantização encontradas a partir das imagens restantes (imagens Mandril e Zelda), gerando assim três valores de PSNR para cada imagem. Esses valores gerados serão analisados e será selecionado o melhor entre todos para ser a melhor tabela de quantização.

Foi elaborado um programa que dividiu a imagem nas componentes horizontais e verticais para se realizar a métrica de artefato de bloqueamento tanto na vertical quanto na horizontal, onde o artefato de bloqueamento final é a média entre esses dois valores.

Esse algoritmo também serviu para visualizar a diminuição do artefato de *ringing* das imagens reconstruídas.

4.2 Simulações

Para avaliar a performance do algoritmo e observar os resultados, foram realizados testes com três imagens diferentes, Lenna, Mandril e Zelda. Os testes foram feitos variando o número de gerações e cromossomos, o número de gerações foi variado de 10, 20 e 30, respectivamente, e para o número de cromossomos 16 e 32. Vale ressaltar que os valores para gerações maiores que 30 não proporcionou melhorias, por isso as simulações foram até 30 gerações. Para cada quantidade de cromossomos foram realizadas as três variações da geração. Obtendo assim, uma melhor tabela de quantização para cada teste.

Contudo, as PSNR's das tabelas de quantização encontradas em cada teste foram analisadas e comparadas, selecionando a maior PSNR dentre todas, conseqüentemente a melhor tabela de quantização. Pode-se visualizar as imagens utilizadas nos testes nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3.



Figura 4-1 - Imagem original Lenna.

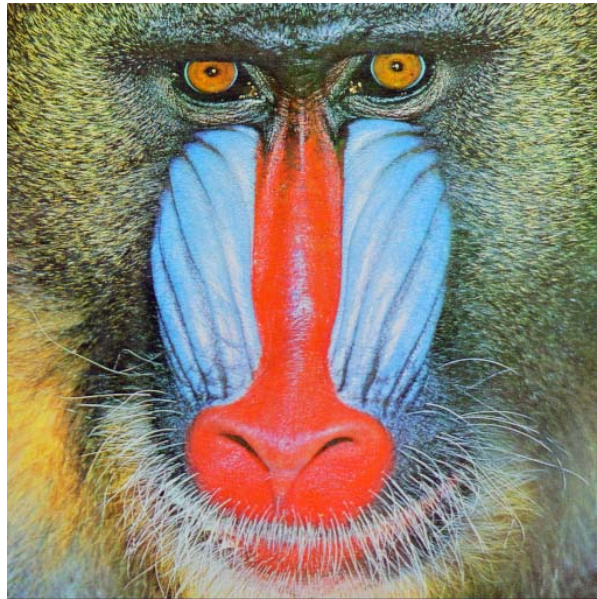


Figura 4-2 - Imagem original Mandril.



Figura 4-3 - Imagem original Zelda.

4.2.1 Simulações da Imagem Lenna

Esta seção apresentará as simulações da imagem Lenna, analisando os resultados em relação as PSNR's das tabelas de quantização para as três componentes da imagem original (luminância, crominância r e crominância b). A primeira componente a ser analisada é a luminância. Verificando a Tabela 4.1, é possível notar os valores da PSNR para a luminância tanto para a imagem quantizada com a tabela do AG quanto para a do JPEG.

As simulações foram realizadas até encontrar 3 (três) tabelas de quantização, uma para cada componente (YCbCr), cada qual com uma relação sinal ruído de pico (PSNR) e sua respectiva taxa de compressão, taxa de bits por pixel (bpp).

Tabela 4-1 - PSNR do primeiro conjunto de tabelas de quantização da Lenna.

Simulação	Gera Coes	Cromosmos	SNR – Padrão			SNR - Algoritmo		
			Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
A - 01	10	16	32.63	39.30	39.31	32.23	46.36	45.34
A - 02	10	16	32.63	39.30	39.31	32.52	44.23	45.12
A - 03	10	16	32.63	39.30	39.31	32.22	44.56	45.40
A - 04	10	16	32.63	39.30	39.31	32.22	44.56	45.40
A - 05	10	16	32.63	39.30	39.31	32.22	44.56	45.40

A - 06	10	16	32.63	39.30	39.31	32.66	44.78	46.74
A - 07	10	16	32.63	39.30	39.31	33.39	45.71	46.07
A - 08	10	16	32.63	39.30	39.31	32.22	44.56	45.40
B - 01	20	16	32.63	39.30	39.31	33.09	46.67	45.36
B - 02	20	16	32.63	39.30	39.31	32.87	49.40	49.11
B - 02	20	16	32.63	39.30	39.31	33.09	46.67	45.36
B - 04	20	16	32.63	39.30	39.31	32.87	49.61	49.12
B - 05	20	16	32.63	39.30	39.31	32.34	46.55	46.74
B - 06	20	16	32.63	39.30	39.31	33.09	46.67	45.36
B - 07	20	16	32.63	39.30	39.31	32.87	49.40	49.82
B - 08	20	16	32.63	39.30	39.31	33.09	46.67	45.36
C - 01	30	16	32.63	39.30	39.31	33.25	47.52	47.55
C - 02	30	16	32.63	39.30	39.31	32.44	49.23	45.81
C - 03	30	16	32.63	39.30	39.31	32.45	49.23	45.81
C - 04	30	16	32.63	39.30	39.31	32.44	49.23	45.81
C - 05	30	16	32.63	39.30	39.31	32.44	49.23	45.81
C - 06	30	16	32.63	39.30	39.31	32.45	49.23	45.81
C - 07	30	16	32.63	39.30	39.31	33.25	47.52	47.55
C - 08	30	16	32.63	39.30	39.31	32.44	49.23	45.81
D - 01	10	32	32.63	39.30	39.31	33.01	46.37	47.76
D - 02	10	32	32.63	39.30	39.31	32.86	46.84	46.17
D - 03	10	32	32.63	39.30	39.31	32.44	47.96	47.36
D - 04	10	32	32.63	39.30	39.31	32.46	47.61	46.19
D - 05	10	32	32.63	39.30	39.32	32.35	45.74	47.38
D - 06	10	32	32.63	39.30	39.32	32.86	46.84	46.17
D - 07	10	32	32.63	39.30	39.32	32.44	47.96	47.36
D - 08	10	32	32.63	39.30	39.32	32.35	45.74	47.38
E - 01	20	32	32.63	39.30	39.31	33.13	47.23	48.39
E - 02	20	32	32.63	39.30	39.31	33.17	49.23	47.67
E - 03	20	32	32.63	39.27	39.31	33.12	47.25	48.39
E - 04	20	32	32.63	39.28	39.32	33.14	47.23	47.41
E - 05	20	32	32.63	39.30	39.31	33.30	46.78	47.45
E - 06	20	32	32.63	39.30	39.32	33.13	47.23	48.40
E - 07	20	32	32.63	39.30	39.31	33.17	49.23	47.67
E - 08	20	32	32.63	39.30	39.31	33.11	48.41	47.60
F - 01	30	32	32.63	39.30	39.31	33.22	46.58	47.16
F - 02	30	32	32.63	39.30	39.31	33.35	45.97	47.41
F - 03	30	32	32.63	39.30	39.31	33.22	46.48	47.16
F - 04	30	32	32.63	39.30	39.31	33.35	45.97	47.41
F - 05	30	32	32.63	39.30	39.31	34.10	45.97	47.41
F - 06	30	32	32.63	39.30	39.31	33.22	46.48	47.16
F - 07	30	32	32.63	39.30	39.31	33.22	46.48	47.16
F - 08	30	32	32.63	39.30	39.31	33.35	45.97	47.41

Analisando a Tabela 4.1, é possível localizar a maior PSNR para a luminância, esta se encontra na simulação F – 05, a qual foi realizada com 30 gerações e 32 cromossomos. O resultado encontrado, a melhor PSNR, de acordo com a teoria de

algoritmos genéticos seria mesmo na simulação que possuísse maior número de cromossomos e gerações.

A PSNR encontrada foi de 34,10, sendo que todas as PSNR's do JPEG padrão foram 32,63, assim sendo, a diferença entre os dois algoritmos foi de 1,47 dB, onde a qualidade da imagem reconstruída pode ser verificada nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6.



Figura 4-4 - Imagem luminância original Lenna.



Figura 4-5 - Imagem luminância AG Lenna primeiro conjunto.



Figura 4-6 - Imagem luminância JPEG padrão Lenna primeiro conjunto.

Analisando visualmente, comprova-se a melhora da imagem reconstruída pelo algoritmo genético proposto em relação ao JPEG, como já havia sido confirmado pelo

valor da PSNR na Tabela 4.1. A seguir serão analisadas as simulações para componente crominância b, verificando a Tabela 4.1.

Conclui-se que a simulação B – 04 foi a que apresentou a melhor tabela de quantização para a componente crominância b para a imagem Lenna. Esta simulação em questão apresenta um número de gerações e cromossomos iguais a 20 e 16, respectivamente. A teoria de algoritmos genéticos cita que existe uma maior probabilidade de se encontrar a resposta ótima para qualquer problema proposto quando para cada simulação existe uma maior quantidade de cromossomos e gerações. Porém, ressalva um ponto muito importante, como o algoritmo genético trabalha com uma população inicial aleatória, pode ser que essa população fique limitada por um ponto chamado “máximo local”, onde esse ponto é a resposta ótima local, não a resposta ótima geral. Sendo assim, uma simulação com um menor número de cromossomos e gerações levaria a uma maior rapidez no processamento do algoritmo proposto, mas, pode apresentar a resposta ótima local para o algoritmo em questão, pois ela apresentou uma melhor distribuição da população original.

A simulação B – 04 apresentou uma PSNR de 49,61 para a tabela de quantização gerada pelo algoritmo genético e um valor de 39,30 para a tabela do JPEG padrão. Assim sendo, caracteriza uma diferença considerada excelente de 10,31 dB's entre as imagens reconstruídas. Para esse resultado numérico tão alto, é possível visualizar com muito mais nitidez a diferença entre as imagens reconstruídas, Figuras 4.7, 4.8 e 4.9.

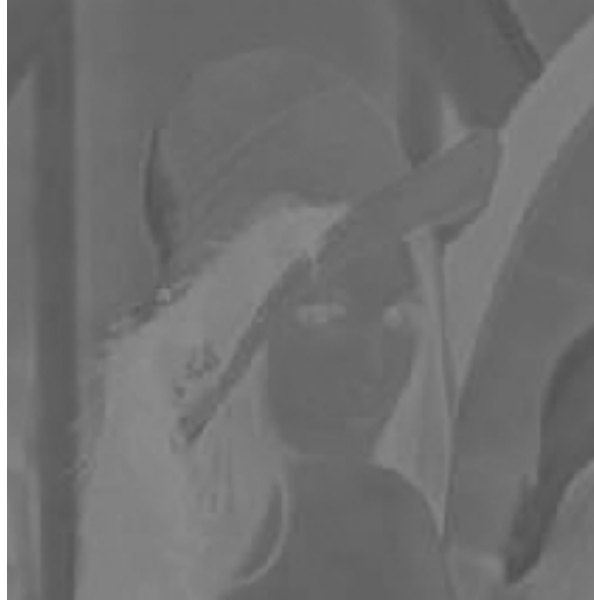


Figura 4-7 - Imagem crominância b original.

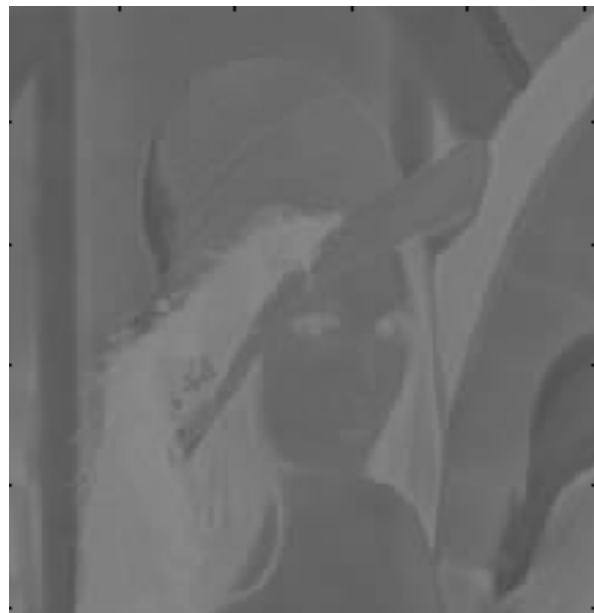


Figura 4-8 - Imagem crominância b AG Lenna primeiro conjunto.



Figura 4-9 - Imagem crominância b JPEG padrão Lenna primeiro conjunto.

Visualmente é possível notar uma diferença muito grande entre a imagem reconstruída pelo algoritmo genético e a imagem do JPEG padrão. Para a componente crominância r a simulação que melhor apresentou um resultado foi a B – 07, com uma PSNR de 49,82 para o algoritmo genético contra uma de 39,31 do JPEG padrão. Uma diferença de 10,51 dB's, onde a simulação para a componente em questão também apresentou as mesmas características com relação ao número de cromossomos e gerações. Nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 pode-se verificar visualmente essa diferença entre as PSNR's.

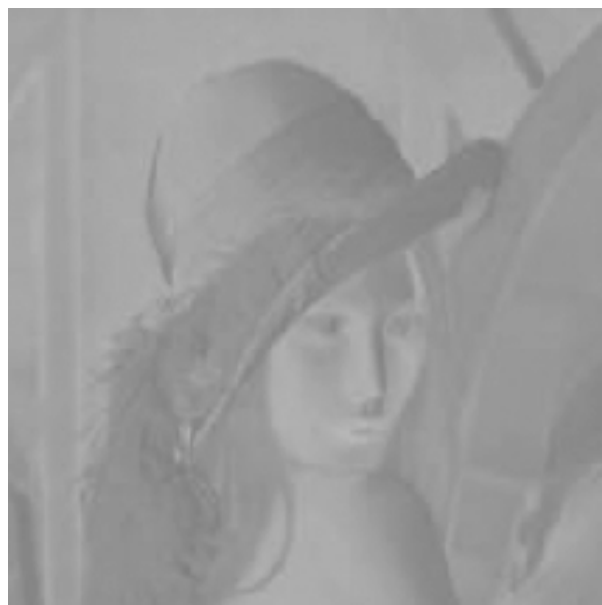


Figura 4-10 - Imagem crominância r original Lenna .



Figura 4-11 - Imagem crominância r AG Lenna primeiro conjunto.



Figura 4-12 - Imagem crominância r JPEG padrão Lenna primeiro conjunto.

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância, crominância b e crominância r do primeiro conjunto de tabelas para imagem Lenna são apresentadas pelas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente.

Tabela 4-2 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para luminância Lenna.

1	3	3	4	7	23	59	73
1	4	10	18	26	66	66	110
2	6	13	20	31	72	89	112
2	7	19	23	51	74	94	114
2	7	20	42	60	84	108	117
9	19	40	48	61	87	112	118
9	27	40	64	85	94	114	121
42	42	48	64	86	96	115	123

Tabela 4-3 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para crominância b Lenna.

1	2	3	15	36	40	59	80
1	4	9	22	47	76	86	102
1	9	18	32	52	76	93	110
3	10	23	38	58	78	103	123
3	10	25	44	68	83	112	125
5	10	25	44	79	83	115	125
8	17	28	50	82	107	119	125
21	33	37	78	93	109	121	125

Tabela 4-4 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para crominância r Lenna.

1	1	2	3	28	53	71	101
1	4	9	21	50	54	94	108
2	7	20	28	58	69	95	113
5	7	22	33	58	81	99	117
7	15	26	46	65	82	100	119
13	25	31	53	70	90	106	120
22	33	40	62	80	97	109	120
25	39	67	77	85	106	110	125

A Tabela 4.5 mostra a PSNR da imagem Lenna para o primeiro conjunto e a Tabela 4.6 mostra a taxa de compressão, bits por pixel (bpp) para as tabelas de quantização encontradas para a imagem Lenna.

Tabela 4-5 - PSNR do primeiro conjunto de tabelas de quantização da Lenna.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
32.63	39.33	39.40	34.10	49.61	49.82

Tabela 4-6 - Bits por pixel do primeiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Lenna.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.76	1.34
Cb	0.20	0.52
Cr	0.20	0.52

O segundo conjunto de simulações para a imagem Lenna foi realizado para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na relação sinal ruído de pico (PSNR) e na taxa de compressão (bpp) da imagem, mostrado na Tabela 4.7 e 4.8, onde pode-se verificar que a PSNR do AG diminui em relação a do primeiro conjunto. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi apresentada na Tabela 4.1, mas para simplificar vamos apenas apresentar o melhor resultado.

Para maior simplificação da análise dos resultados, será escolhida apenas uma tabela para a quantização das componentes Cb e Cr, como utilizado pelo padrão JPEG.

Tabela 4-7 - PSNR do segundo conjunto de tabelas de quantização da Lenna.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
32.63	39.33	39.40	32.53	39.79	39.91

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.7. Essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.8.

Tabela 4-8 - Bits por pixel do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Lenna.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.76	0.73
Cb	0.20	0.23
Cr	0.20	0.22

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Lenna são apresentadas pelas Tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente.

Tabela 4-9 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para luminância Lenna.

14	14	15	16	24	40	51	60
14	15	16	19	26	56	58	61
15	16	17	24	40	58	60	69
15	17	22	29	51	62	80	87
16	22	37	56	68	77	103	109
17	44	46	56	69	92	103	112
25	46	58	59	99	100	104	113
72	92	95	98	101	103	120	121

Tabela 4-10 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para crominância b e r Lenna.

15	18	24	44	53	58	83	95
10	25	29	54	57	76	83	102
13	26	30	57	70	80	92	104
20	41	49	68	80	104	111	113
23	41	52	73	96	108	112	116
24	43	58	74	98	109	114	120
25	53	59	90	102	114	117	125
26	94	96	113	113	114	120	125

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.13 e 4.14, respectivamente.



Figura 4-13 - Imagem luminância AG Lenna segundo conjunto.



Figura 4-14 - Imagem luminância JPEG padrão Lenna segundo conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.15 e 4.16.



Figura 4-15 - Imagem crominância b AG Lenna segundo conjunto.



Figura 4-16 - Imagem crominância b JPEG padrão Lenna segundo conjunto.

Nas Figuras 4.17 e 4.18 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r.



Figura 4-17 - Imagem crominância r AG Lenna segundo conjunto.



Figura 4-18 - Imagem crominância r padrão JPEG Lenna segundo conjunto.

O terceiro conjunto de simulações para a imagem Lenna foi realizado para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na PSNR e na bpp da imagem, mostrado na Tabela 4.11 e 4.12, onde essas variáveis diminuirão em relação as do segundo conjunto. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi

apresentada na Tabela 4.1, mas para simplificar vamos apenas apresentar o melhor resultado.

Para maior simplificação da análise dos resultados, será simplificado as duas tabelas de quantização das componentes Cb e Cr em apenas uma tabela de quantização, como utilizado pelo padrão JPEG.

Tabela 4-11 - PSNR do terceiro conjunto de tabelas de quantização da Lenna.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
32.63	39.33	39.40	31.30	38.40	38.64

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.11. Essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.12.

Tabela 4-12 - Bits por pixel do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Lenna.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.76	0.56
Cb	0.20	0.17
Cr	0.20	0.17

Com a diminuição do valor da taxa de bits por pixel apresentada pelo AG na Tabela 4.12, houve uma redução da quantidade de bits necessários para representar a imagem quantizada. Essa economia é representada por 12133 bits, ou seja, um aumento de 25% na taxa de compressão para luminância e 14% para as crominâncias r e b.

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Lenna são apresentadas pelas Tabelas 4.13 e 4.14, respectivamente.

Tabela 4-13 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para luminância Lenna.

17	14	25	32	33	47	53	105
15	16	26	45	59	74	94	114
16	19	36	53	60	77	97	117
22	26	41	57	69	93	103	119
37	53	65	68	90	100	110	121
38	53	65	70	90	104	111	122
49	60	79	93	99	107	112	124
51	73	80	98	100	111	124	125

Tabela 4-14 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para crominância b e r Lenna.

19	22	60	70	90	125	125	125
19	38	67	77	100	125	125	125
21	38	56	86	90	110	125	125
40	67	88	99	119	125	125	125
70	90	90	110	122	125	125	125
74	100	110	112	124	125	125	125
78	112	112	120	125	125	125	125
100	114	115	124	125	125	125	125

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.19 e 4.20, respectivamente.



Figura 4-19 - Imagem luminância AG Lenna terceiro conjunto.



Figura 4-20 - Imagem luminância JPEG padrão Lenna terceiro conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.21 e 4.22.



Figura 4-21 - Imagem crominância b AG Lenna terceiro conjunto.



Figura 4-22 - Imagem crominância b JPEG padrão Lenna terceiro conjunto.

Nas Figuras 4.23 e 4.24 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r.



Figura 4-23 - Imagem crominância r AG Lenna terceiro conjunto.



Figura 4-24 - Imagem crominância r padrão JPEG Lenna terceiro conjunto.

4.2.2 Simulações para Imagem Mandril

Será apresentado nesta seção o resultado das simulações feitas para a imagem Mandril, tanto na forma numérica quanto visual. A Tabela 4.15 apresenta os resultados das PSNR's das três componentes que compõem a imagem original colorida.

Tabela 4-15 - Relação sinal - ruído de pico da imagem Mandril.

Simulação	Gerações	Cromosomos	SNR – Padrão			SNR – Algoritmo		
			Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
A - 01	10	16	28.53	39.34	39.44	29.20	46.72	46.44
A - 02	10	16	28.53	39.34	39.44	29.30	47.01	46.33
A - 03	10	16	28.53	39.34	39.44	29.08	46.88	46.78
A - 04	10	16	28.53	39.34	39.44	29.10	46.32	46.48
A - 05	10	16	28.53	39.34	39.44	29.90	46.78	46.33
A - 06	10	16	28.53	39.34	39.44	29.21	47.51	46.12
A - 07	10	16	28.53	39.34	39.44	29.32	47.03	47.23
A - 08	10	16	28.53	39.34	39.44	29.43	46.89	46.34
B - 01	20	16	28.53	39.34	39.44	29.34	47.34	46.56
B - 02	20	16	28.53	39.34	39.44	29.73	46.78	46.78
B - 02	20	16	28.53	39.34	39.44	29.68	46.78	46.34
B - 04	20	16	28.53	39.34	39.44	29.43	47.32	46.65
B - 05	20	16	28.53	39.34	39.44	29.73	46.98	46.89
B - 06	20	16	28.53	39.34	39.44	29.34	47.34	46.89
B - 07	20	16	28.53	39.34	39.44	29.54	46.65	46.76
B - 08	20	16	28.53	39.34	39.44	29.45	46.76	45.89
C - 01	30	16	28.53	39.34	39.44	29.56	47.78	46.98
C - 02	30	16	28.53	39.34	39.44	29.78	47.34	47.34
C - 03	30	16	28.53	39.34	39.44	29.89	46.78	47.67
C - 04	30	16	28.53	39.34	39.44	29.43	46.87	47.12
C - 05	30	16	28.53	39.34	39.44	29.34	47.45	46.78
C - 06	30	16	28.53	39.34	39.44	29.44	47.33	46.89
C - 07	30	16	28.53	39.34	39.44	29.44	46.89	46.76
C - 08	30	16	28.53	39.34	39.44	29.54	47.66	46.98
D - 01	10	32	28.53	39.34	39.44	29.43	45.55	47.65
D - 02	10	32	28.53	39.34	39.44	29.54	46.78	47.56
D - 03	10	32	28.53	39.34	39.44	29.44	47.44	47.87
D - 04	10	32	28.53	39.34	39.44	29.32	46.33	47.23
D - 05	10	32	28.53	39.34	39.44	29.44	46.99	47.90
D - 06	10	32	28.53	39.34	39.44	29.67	46.89	46.89
D - 07	10	32	28.53	39.34	39.44	29.64	47.89	47.87
D - 08	10	32	28.53	39.34	39.44	29.87	47.78	47.87
E - 01	20	32	28.53	39.34	39.44	29.77	47.67	48.06
E - 02	20	32	28.53	39.34	39.44	30.25	47.89	47.98
E - 03	20	32	28.53	39.34	39.44	29.11	47.78	48.02
E - 04	20	32	28.53	39.34	39.44	29.43	47.99	47.89
E - 05	20	32	28.53	39.34	39.44	29.12	47.33	47.98
E - 06	20	32	28.53	39.34	39.44	29.33	46.78	47.89
E - 07	20	32	28.53	39.34	39.44	29.55	48.01	46.99
E - 08	20	32	28.53	39.34	39.44	29.56	47.87	47.67

F – 01	30	32	28.53	39.34	39.44	29.77	47.77	47.76
F – 02	30	32	28.53	39.34	39.44	29.33	48.65	47.76
F – 03	30	32	28.53	39.34	39.44	29.66	47.44	47.33
F – 04	30	32	28.53	39.34	39.44	29.87	48.00	47.54
F – 05	30	32	28.53	39.34	39.44	29.52	48.00	47.89
F – 06	30	32	28.53	39.34	39.44	29.33	47.89	47.90
F – 07	30	32	28.53	39.34	39.44	29.75	47.99	47.78
F – 08	30	32	28.53	39.34	39.44	30.02	47.67	48.01

Para a componente luminância da imagem Mandril a simulação que apresentou o melhor resultado para a PSNR foi da E – 02, a qual possui o número de gerações igual a 20 e o número de cromossomos igual a 32. Para esses parâmetros a simulação estabilizou em uma PSNR de 30.25 contra 28.53 do JPEG padrão. Verifica-se as imagens geradas pelas melhores tabelas de quantização pelas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27.

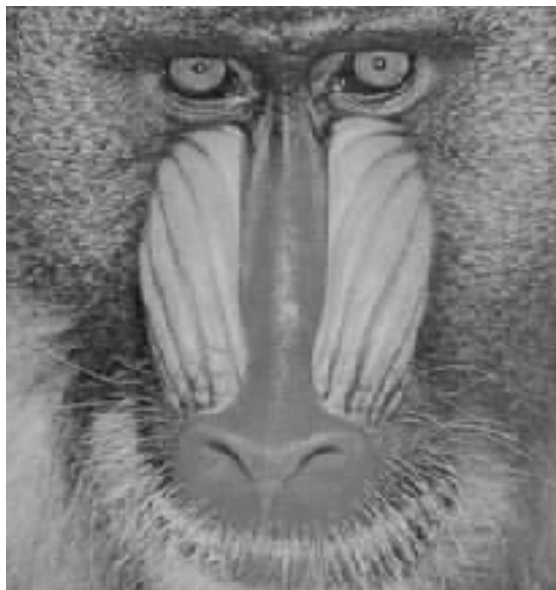


Figura 4-25 - Imagem luminância original Boab primeiro conjunto.

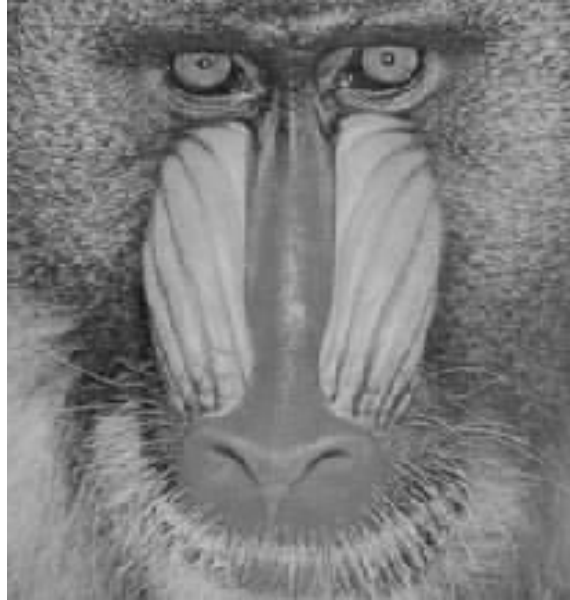


Figura 4-26 - Imagem luminância AG Boate primeiro conjunto.

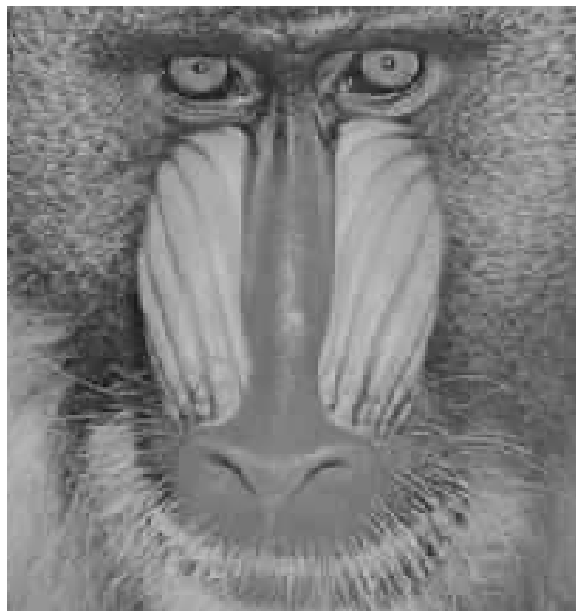


Figura 4-27 - Imagem luminância JPEG padrão Boate primeiro conjunto.

Para a componente crominância b a simulação que apresenta a maior PSNR é a F – 02, com uma PSNR de 48.65 para o algoritmo genético e uma de 39.34 para o JPEG

padrão, assim estabelecendo uma diferença de 9.31 dB's. Nas Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 serão apresentadas as imagens da crominância b original, do algoritmo genético e do JPEG padrão.



Figura 4-28 - Imagem crominância b original Boat primeiro conjunto.



Figura 4-29 - Imagem crominância b AG Boat primeiro conjunto.

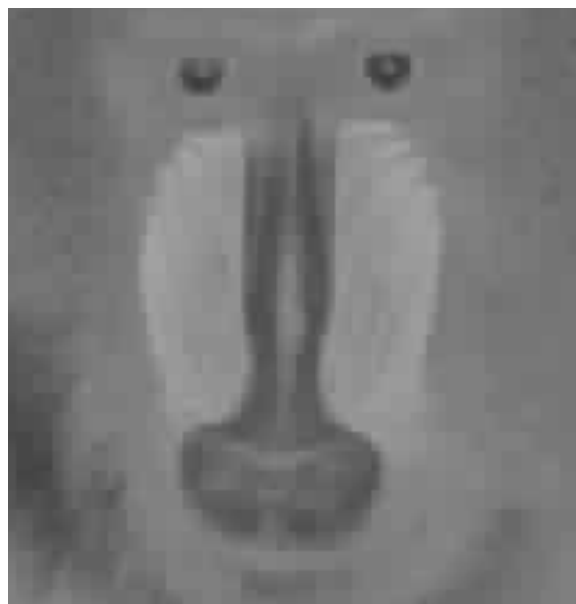


Figura 4-30 - Imagem crominância b JPEG padrão Boat primeiro conjunto.

Para a crominância r a simulação E – 01 apresentou a melhor PSNR, que é de 48.06 contra 39.44 do algoritmo JPEG padrão, ressaltando uma diferença de 8.62 dB's, as Figuras 4.31, 4.32 e 4.33 apresentam as imagens da crominância r.

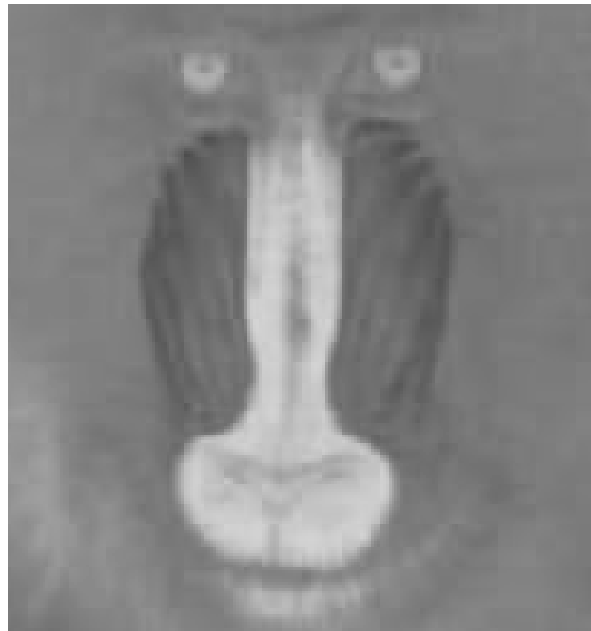


Figura 4-31 - Imagem crominância r original Boat primeiro conjunto.

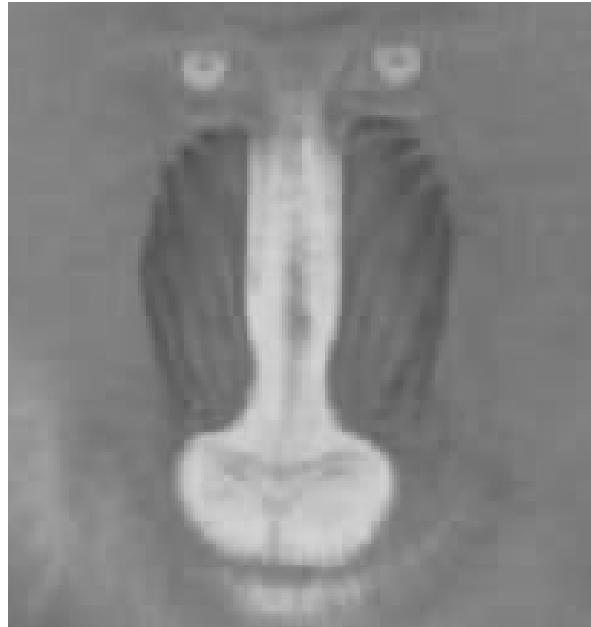


Figura 4-32 - Imagem crominância r AG Boat primeiro conjunto.

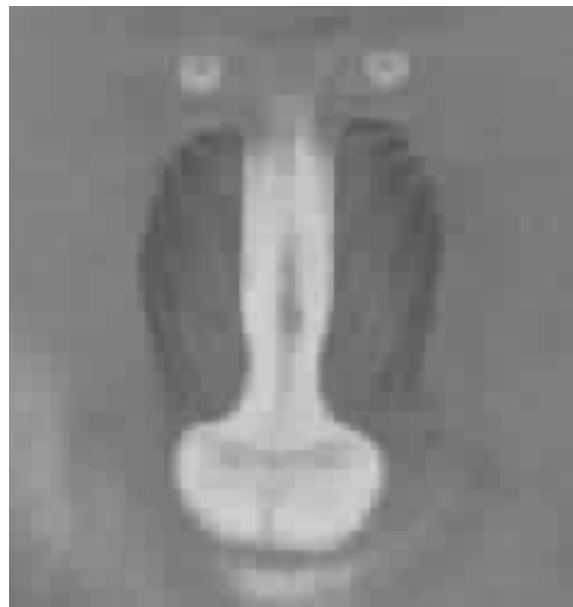


Figura 4-33 - Imagem crominância r JPEG padrão Boat primeiro conjunto.

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância, crominâncias b e r do primeiro conjunto de tabelas para imagem Mandril são apresentadas pelas Tabelas 4.16 e 4.17, respectivamente.

Tabela 4-16 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para luminância Mandril.

1	2	6	7	16	34	81	83
1	5	14	20	26	46	83	85
1	11	15	24	31	53	96	104
2	14	19	32	52	88	96	105
3	16	20	40	55	89	103	105
13	22	42	47	55	93	106	112
14	25	45	50	73	96	107	122
15	30	47	61	90	97	123	126

Tabela 4-17 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para crominâncias b e r Mandril.

1	1	2	3	20	56	71	101
1	4	9	21	35	59	94	108
2	7	20	28	53	69	95	113
5	7	22	33	58	81	99	117
7	15	26	46	59	81	100	119
9	27	43	53	77	81	106	120
13	33	46	62	82	87	109	120
25	39	67	77	85	106	110	125

A Tabela 4.18 mostra a PSNR do primeiro conjunto da imagem Mandril e a Tabela 4.19 mostra a taxa de compressão, bits por pixel (bpp) para as tabelas de quantização encontradas para a imagem Mandril.

Tabela 4-18 - PSNR do primeiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
28.53	39.34	39.44	28.00	39.77	39.72

Tabela 4-19 - Bits por pixel do primeiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	1.24	1.88
Cb	0.25	0.70
Cr	0.24	0.66

O segundo conjunto de simulações para a imagem Mandril foi realizado para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na PSNR e na bpp da imagem, mostrado na Tabela 4.20. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi apresentada na Tabela 4.14, mas para simplificar vamos apenas apresentar o melhor resultado.

Para maior simplificação da análise dos resultados, será simplificado as duas tabelas de quantização das componentes Cb e Cr em apenas uma tabela de quantização, como utilizado pelo padrão JPEG.

Tabela 4-20 - PSNR do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
28.53	39.34	39.44	28.00	39.77	39.72

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.20. Essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.21.

Tabela 4-21 - Bits por pixel do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	1.24	1.14
Cb	0.24	0.25
Cr	0.23	0.24

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Mandril são apresentadas pelas Tabelas 4.22 e 4.23, respectivamente.

Tabela 4-22 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para luminância Mandril.

10	10	11	18	20	49	52	88
10	12	16	22	45	61	94	111
12	14	26	48	57	86	98	113
13	30	43	52	78	93	109	115
23	34	43	65	88	98	112	115
24	36	49	69	92	102	117	121
35	51	58	79	103	109	120	125
46	56	60	79	106	111	124	125

Tabela 4-23 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para crominância b e r Mandril.

11	20	37	45	66	72	81	108
13	27	37	60	67	75	100	112
14	28	40	64	70	77	102	119
18	32	40	65	71	93	104	119
19	38	48	66	86	98	107	119
21	39	48	85	88	102	113	122
32	46	55	92	97	112	118	123
37	59	84	105	107	118	122	125

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.34 e 4.35, respectivamente.

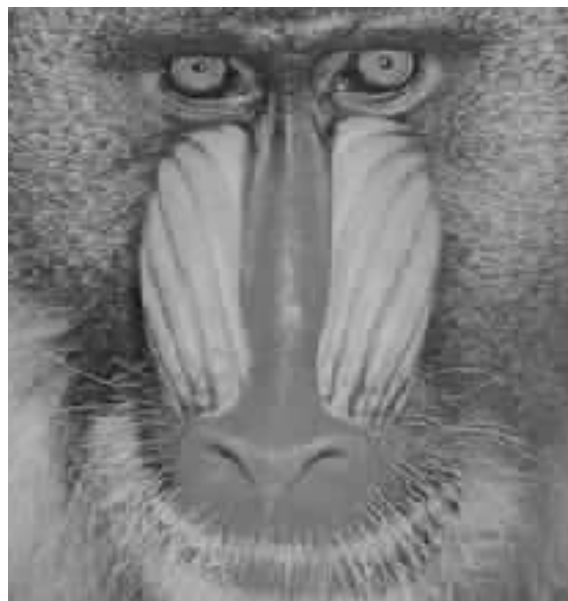


Figura 4-34 - Imagem luminância AG Mandril segundo conjunto.



Figura 4-35 - Imagem luminância JPEG padrão Mandril segundo conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.36 e 4.37.

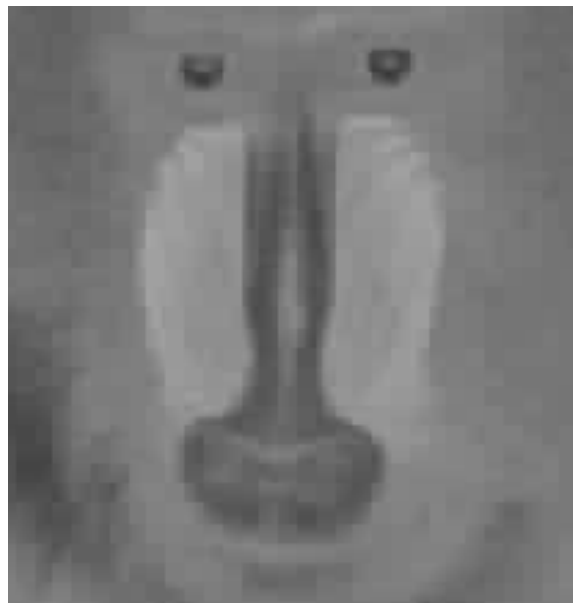


Figura 4-36 - Imagem crominância b AG Mandril segundo conjunto.

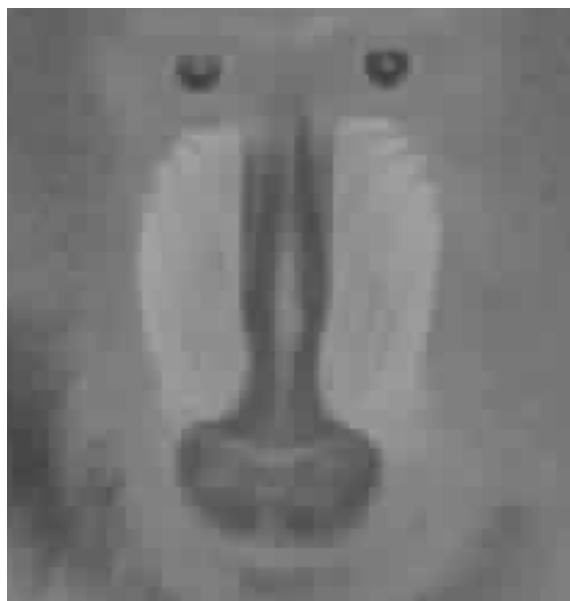


Figura 4-37 - Imagem crominância b JPEG padrão Mandril segundo conjunto.

Nas Figuras 4.38 e 4.39 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r.

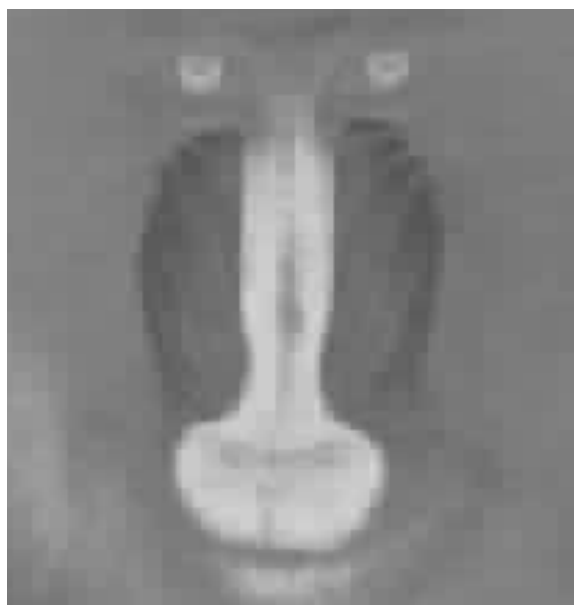


Figura 4-38 - Imagem crominância r AG Mandril segundo conjunto.

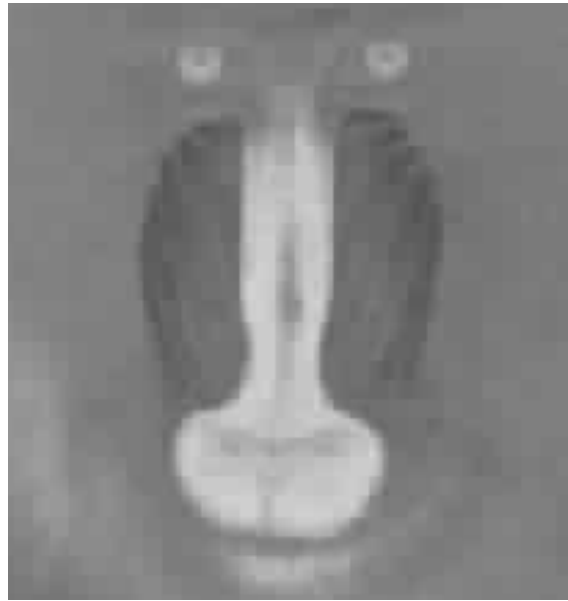


Figura 4-39 - Imagem crominância r padrão JPEG Mandril segundo conjunto.

O terceiro conjunto de simulações para a imagem Mandril foi realizado para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na PSNR e na bpp da imagem, mostrado na Tabela 4.24. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi apresentada na Tabela 4.14, mas para simplificar vamos apenas apresentar o melhor resultado.

Como simplificação dos resultados, foram obtidas duas tabelas de quantização, uma para Cb e outra para Cr, será utilizado apenas uma tabela para as duas componentes (Cb e Cr), como utilizado pelo padrão JPEG.

Tabela 4-24 - PSNR do terceiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

SNR – padrão			SNR – algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
28.53	39.34	39.44	27.33	38.42	38.35

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.24, essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.25.

Tabela 4-25 - Bits por pixel do terceiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Mandril.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	1.23	0.97
Cb	0.25	0.22
Cr	0.23	0.21

Com a diminuição do valor da taxa de bits por pixel apresentada pelo AG na Tabela 4.25, houve uma redução da quantidade de bits necessários para representar a imagem quantizada. Essa economia é representada por 17030 bits, ou seja, um aumento de 24% na taxa de compressão para luminância e 11% para as crominâncias r e b.

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Mandril são apresentadas pelas Tabelas 4.26 e 4.27, respectivamente.

Tabela 4-26 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para luminância Mandril.

14	15	16	33	41	49	52	88
13	25	36	37	45	61	94	111
16	30	42	48	57	86	98	113
22	32	43	52	78	93	109	115
23	34	43	65	88	98	112	115
24	36	49	69	92	102	117	121
35	51	58	79	103	109	120	125
46	56	60	79	106	111	124	125

Tabela 4-27 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para crominância b e r Mandril.

18	23	37	45	80	99	100	112
17	37	43	80	99	100	111	112
39	41	84	98	102	111	125	125
40	86	96	101	110	125	125	125
88	95	102	108	125	125	125	125
90	104	107	125	125	125	125	125
105	105	125	125	125	125	125	125
104	125	125	125	125	125	125	125

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.40 e 4.41, respectivamente.



Figura 4-40 - Imagem luminância AG Mandril terceiro conjunto.



Figura 4-41 - Imagem luminância JPEG padrão Lenna terceiro conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.42 e 4.43.



Figura 4-42 - Imagem crominância b AG Mandril terceiro conjunto.

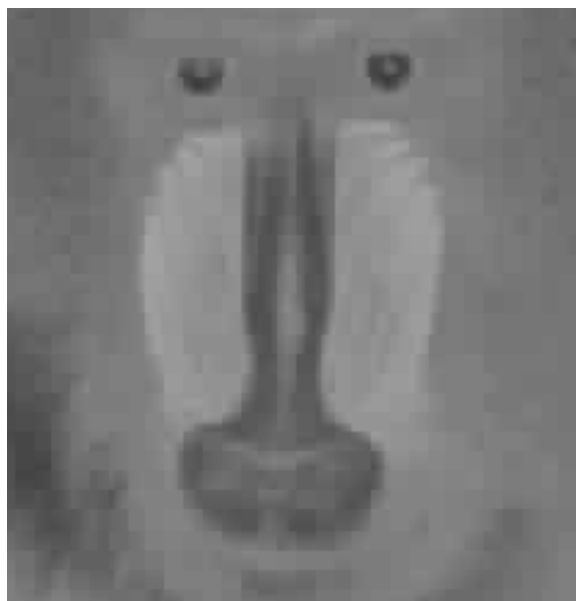


Figura 4-43 - Imagem crominância b JPEG padrão Mandril terceiro conjunto.

Nas Figuras 4.44 e 4.45 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r.

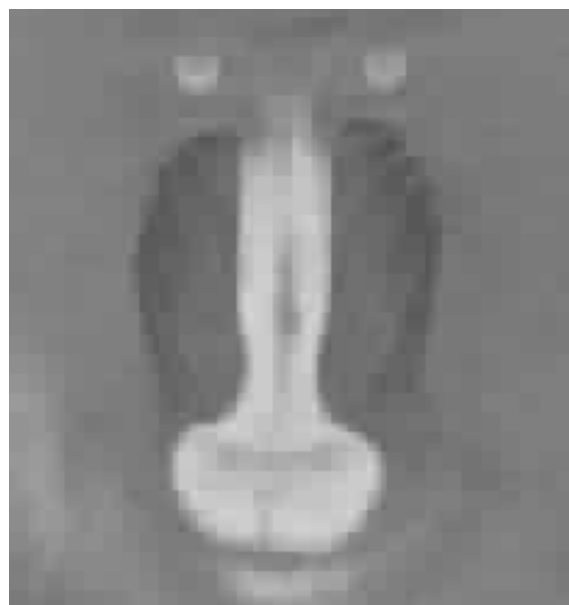


Figura 4-44 - Imagem crominância r AG Mandril terceiro conjunto.



Figura 4-45 - Imagem crominância r padrão JPEG Mandril terceiro conjunto.

4.2.3 Simulações para Imagem Zelda

Será apresentado nesta seção o resultado das simulações feitas para a imagem Casal, apresentando os mesmos tanto na forma numérica quanto visual. A Tabela 4.28 apresenta os resultados das PSNR's das três componentes que compõem a imagem original colorida.

Tabela 4-28 - Relação sinal - ruído de pico da imagem Zelda.

Simulação	Gerações	Cromos Somos	SNR – Padrão			SNR – Algoritmo		
			Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
A – 01	10	16	34.65	37.88	36.97	35.89	38.77	39.78
A – 02	10	16	34.65	37.88	36.97	35.78	38.88	39.98
A – 03	10	16	34.65	37.88	36.97	35.88	39.03	39.78
A – 04	10	16	34.65	37.88	36.97	35.98	38.98	39.78
A – 05	10	16	34.65	37.88	36.97	36.00	38.09	40.12
A – 06	10	16	34.65	37.88	36.97	35.56	39.55	40.23
A – 07	10	16	34.65	37.88	36.97	35.76	39.77	39.89
A – 08	10	16	34.65	37.88	36.97	35.77	38.99	39.54
B – 01	20	16	34.65	37.88	36.97	35.67	38.87	39.67
B – 02	20	16	34.65	37.88	36.97	35.89	38.99	39.78
B – 02	20	16	34.65	37.88	36.97	36.01	38.78	40.23

B – 04	20	16	34.65	37.88	36.97	35.89	39.09	40.34
B – 05	20	16	34.65	37.88	36.97	35.99	39.89	40.15
B – 06	20	16	34.65	37.88	36.97	36.28	39.77	39.89
B – 07	20	16	34.65	37.88	36.97	36.02	39.98	39.99
B – 08	20	16	34.65	37.88	36.97	36.09	39.78	39.57
C – 01	30	16	34.65	37.88	36.97	35.89	39.88	39.65
C – 02	30	16	34.65	37.88	36.97	36.12	39.09	39.56
C – 03	30	16	34.65	37.88	36.97	35.99	39.78	39.76
C – 04	30	16	34.65	37.88	36.97	36.23	39.77	39.68
C – 05	30	16	34.65	37.88	36.97	36.23	39.67	40.05
C – 06	30	16	34.65	37.88	36.97	36.32	39.65	40.09
C – 07	30	16	34.65	37.88	36.97	36.24	39.76	40.34
C – 08	30	16	34.65	37.88	36.97	36.15	40.02	39.78
D – 01	10	32	34.65	37.88	36.97	36.34	39.89	40.05
D – 02	10	32	34.65	37.88	36.97	36.19	39.89	39.98
D – 03	10	32	34.65	37.88	36.97	35.99	39.78	39.98
D – 04	10	32	34.65	37.88	36.97	36.23	39.87	39.98
D – 05	10	32	34.65	37.88	36.97	36.34	39.78	40.07
D – 06	10	32	34.65	37.88	36.97	36.34	39.89	40.34
D – 07	10	32	34.65	37.88	36.97	36.28	39.78	40.47
D – 08	10	32	34.65	37.88	36.97	36.34	39.07	40.50
E – 01	20	32	34.65	37.88	36.97	36.23	40.03	40.45
E – 02	20	32	34.65	37.88	36.97	36.34	40.05	40.37
E – 03	20	32	34.65	37.88	36.97	36.32	40.23	40.31
E – 04	20	32	34.65	37.88	36.97	36.16	40.31	40.33
E – 05	20	32	34.65	37.88	36.97	36.18	40.17	40.44
E – 06	20	32	34.65	37.88	36.97	36.35	39.89	40.34
E – 07	20	32	34.65	37.88	36.97	36.33	39.89	40.54
E – 08	20	32	34.65	37.88	36.97	36.32	40.20	40.11
F – 01	30	32	34.65	37.88	36.97	36.58	39.98	40.41
F – 02	30	32	34.65	37.88	36.97	36.34	40.24	40.33
F – 03	30	32	34.65	37.88	36.97	35.99	40.25	40.55
F – 04	30	32	34.65	37.88	36.97	36.43	40.62	40.22
F – 05	30	32	34.65	37.88	36.97	36.44	40.34	40.71
F – 06	30	32	34.65	37.88	36.97	36.46	40.45	40.22
F – 07	30	32	34.65	37.88	36.97	36.32	40.23	40.33
F – 08	30	32	34.65	37.88	36.97	36.33	40.39	40.49

A simulação F – 01 apresentou a maior PSNR para a luminância, com um valor de 36.58 para o algoritmo genético em relação a 34,65 do algoritmo JPEG padrão, estabelecendo assim uma diferença de 1,93 dB's. A simulação citada acima possui como parâmetros de entrada 30 gerações e 32 cromossomos. Nas Figuras 4.46, 4.47 e 4.48 é possível visualizar as imagens da luminância.



Figura 4-46 - Imagem luminância original Zelda.



Figura 4-47 - Imagem luminância AG Zelda primeiro conjunto.



Figura 4-48 - Imagem luminância JPEG padrão Zelda primeiro conjunto.

A simulação F – 04 apresentou a maior PSNR para a crominância b, com um valor de 40,62 para o algoritmo genético em relação a 37,88 do algoritmo JPEG padrão, estabelecendo assim uma diferença de 2,74 dB's. A simulação citada acima possui como parâmetros de entrada 30 gerações e 32 cromossomos. Nas Figuras 4.49, 4.50 e 4.51 é possível visualizar as imagens da crominância b.



Figura 4-49 - Imagem crominância b original Zelda primeiro conjunto.



Figura 4-50 - Imagem crominância b AG Zelda primeiro conjunto.



Figura 4-51 - Imagem crominância b JPEG padrão Zelda primeiro conjunto.

A simulação F – 05 apresentou a maior PSNR para a crominância r, com um valor de 40,71 para o algoritmo genético é de 36,97 para o algoritmo JPEG padrão, estabelecendo assim uma diferença de 3,74 dB's. As simulações citadas acima possuem como parâmetros de entrada 30 gerações e 32 cromossomos. Nas Figuras 4.52, 4.53 e 4.54 é possível visualizar as imagens da crominância b.



Figura 4-52 - Imagem crominância r original Zelda primeiro conjunto.



Figura 4-53 - Imagem crominância r AG Zelda primeiro conjunto.



Figura 4-54 - Imagem crominância r JPEG padrão Zelda primeiro conjunto.

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância, crominâncias b e r do primeiro conjunto de tabelas para imagem Zelda são apresentadas pelas Tabelas 4.29 e 4.30, respectivamente.

Tabela 4-29 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para luminância Zelda.

1	3	7	9	30	61	81	96
1	4	10	16	32	72	81	105
2	6	13	18	48	82	104	111
2	7	15	23	51	88	104	111
2	7	22	42	57	89	105	121
3	10	25	45	83	93	105	122
8	19	26	49	84	93	105	122
22	36	75	84	85	100	122	125

Tabela 4-30 - Melhor tabela de quantização do primeiro conjunto de tabelas para crominâncias b e r Zelda.

1	3	3	4	7	23	59	83
1	5	10	18	26	66	81	85
2	6	13	20	31	72	89	96
2	7	15	23	51	72	94	96
2	7	22	42	55	82	101	103
3	10	25	57	81	89	105	112
14	30	47	61	83	91	112	122
15	30	57	73	90	93	123	126

A Tabela 4.31 mostra a taxa de compressão, bits por pixel (bpp) para as tabelas de quantização encontradas para a imagem Zelda.

Tabela 4-31 - Bits por pixel do primeiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Zelda.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.59	1.16
Cb	0.16	0.75
Cr	0.20	0.81

O segundo conjunto de simulações para a imagem Zelda foi realizada para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na PSNR e na bpp da imagem, mostrado na Tabela 4.32. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi apresentada na Tabela 4.28, mas para simplificar é apresentado o melhor resultado relativo a cada componente.

Tabela 4-32 - PSNR do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Zelda.

SNR – padrão			SNR - algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
34.65	37.88	36.97	33.90	38.87	38.10

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.32. Essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.33.

Tabela 4-33 - Bits por pixel do segundo conjunto de tabelas de quantização da imagem Zelda.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.58	0.52
Cb	0.16	0.20
Cr	0.20	0.26

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Zelda são apresentadas pelas Tabelas 4.34 e 4.35, respectivamente.

Tabela 4-34 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para luminância Zelda.

7	9	12	33	35	45	52	88
9	15	36	37	50	80	94	111
16	26	36	48	57	96	98	113
15	26	38	49	66	98	109	115
18	32	41	55	67	99	112	115
24	36	49	69	85	109	117	121
35	51	58	79	103	109	120	125
46	56	60	79	106	111	124	125

Tabela 4-35 - Melhor tabela de quantização do segundo conjunto de tabelas para crominância b e r Zelda.

8	9	28	32	41	49	85	91
9	18	29	44	51	56	85	100
16	20	35	45	55	65	87	115
18	22	41	45	55	70	94	115
19	24	41	47	69	84	98	117
21	28	43	48	76	96	111	124
21	28	45	94	95	98	111	124
25	36	103	105	108	110	113	126

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.55 e 4.56, respectivamente.



Figura 4-55 - Imagem luminância AG Zelda segundo conjunto.



Figura 4-56 - Imagem luminância JPEG padrão Zelda segundo conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.57 e 4.58.



Figura 4-57 - Imagem crominância b AG Zelda segundo conjunto.



Figura 4-58 - Imagem crominância b JPEG padrão Zelda segundo conjunto.

Nas Figuras 4.59 e 4.60 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r, para o AG e para o padrão JPEG.



Figura 4-59 - Imagem crominância r AG Zelda segundo conjunto.



Figura 4-60 - Imagem crominância r padrão JPEG Zelda segundo conjunto.

O terceiro conjunto de simulações para a imagem Zelda foi realizado para encontrar tabelas de quantização que apresentem uma variação na PSNR e na bpp da imagem, mostrado na Tabela 4.36. Essas simulações foram realizadas da mesma forma que foi apresentada na Tabela 4.28, mas para simplificar vamos apenas apresentar o melhor resultado.

Tabela 4-36 - PSNR do terceiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Zelda.

SNR – padrão			SNR – algoritmo		
Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
34.65	37.88	36.97	33.5	37.64	36.47

Foi calculada a taxa de bits por pixel para as tabelas de quantização encontradas com a relação sinal ruído de pico mostrada na Tabela 4.36. Essa taxa pode ser visualizada na Tabela 4.37.

Tabela 4-37 - Bits por pixel do terceiro conjunto de tabelas de quantização da imagem Zelda.

Bits por pixel		
Componente	JPEG padrão	AG
Y	0.58	0.46
Cb	0.16	0.15
Cr	0.20	0.18

As melhores tabelas de quantização para as componentes luminância e crominâncias b e r do segundo conjunto de tabelas para imagem Mandril são apresentadas pelas Tabelas 4.38 e 4.39, respectivamente.

Tabela 4-38 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para luminância Zelda.

15	15	16	33	35	45	52	88
13	25	36	37	50	80	94	111
13	26	36	48	57	96	98	113
15	26	38	49	66	98	109	115
18	32	41	55	67	99	112	115
24	36	49	69	85	109	117	121
35	51	58	79	103	109	120	125
46	56	60	79	106	111	124	125

Tabela 4-39 - Melhor tabela de quantização do terceiro conjunto de tabelas para crominância b e r Zelda.

18	19	38	49	80	99	100	112
18	33	42	80	99	100	111	112
37	40	84	98	102	111	125	125
39	86	96	101	110	125	125	125
88	95	102	108	125	125	125	125
90	104	107	125	125	125	125	125
105	105	125	125	125	125	125	125
104	125	125	125	125	125	125	125

As imagens da componente luminância (AG e JPEG) podem ser verificadas pelas Figuras 4.61 e 4.62, respectivamente.



Figura 4-61 - Imagem luminância AG Zelda terceiro conjunto.



Figura 4-62 - Imagem luminância JPEG padrão Zelda terceiro conjunto.

As imagens da componente crominância b podem ser verificadas nas Figuras 4.63 e 4.64.



Figura 4-63 - Imagem crominância b AG Zelda terceiro conjunto.



Figura 4-64 - Imagem crominância b JPEG padrão Zelda terceiro conjunto.

Nas Figuras 4.65 e 4.66 podem ser visualizadas as imagens da componente crominância r.



Figura 4-65 - Imagem crominância r AG Zelda terceiro conjunto.



Figura 4-66 - Imagem crominância r padrão JPEG Zelda terceiro conjunto.

4.3 Melhores Tabelas de Quantização

Nesta seção será feita uma relação entre as PSNR's das melhores tabelas de quantização apresentadas na seção 4.2 para selecionar a tabela genérica mais robusta para o AG, tanto em termos de PSNR quanto bpp. Essa relação será feita da seguinte forma: todas as imagens serão quantizadas e desquantizadas utilizando as três melhores tabelas, para cada conjunto de geração, uma de cada imagem. Aquela que apresentar uma melhor proporção entre a PSNR do algoritmo genético e a do algoritmo JPEG padrão, será considerada a melhor tabela de quantização para essas três imagens.

Embasado nas tabelas de quantização encontradas para as três imagens citadas acima, foi realizado a quantização das três imagens utilizando a tabela de quantização de cada imagem, ou seja, aplicou-se a tabela de quantização da imagem Lenna em todas as

outras imagens e vice-versa. Encontrando assim, para cada imagem três PSNR's, uma para cada tabela de quantização utilizada.

Foi feita uma proporção entre as PSNR's encontradas, calculou-se o aumento de cada PSNR, subtraindo a mesma de cada algoritmo sobre a PSNR do JPEG padrão, esse valor foi dividido pela PSNR do algoritmo JPEG padrão e por último, multiplicado por 100 (cem), como segue a Equação 4.1.

$$Aumento = \left(\frac{PSNR_{simulado} - PSNR_{padrao}}{PSNR_{padrao}} \right) * 100\% \quad (4.1)$$

Analisando o resultado encontrado pela Equação 4.1 foi possível detectar as melhores tabelas de quantização (YCbCr), ou seja, a tríplice, para cada conjunto de gerações. A melhor tabela encontrada para a componente Luminância (Y), crominância b (Cb) e crominância r (Cr) foi da imagem Lenna.

As Tabelas 4.40 – 4.45 mostram as melhores tabelas de quantização selecionadas, cada dupla representa uma determinada PSNR e uma bpp.

Tabela 4-40 - Melhor tabela de quantização para componente luminância do primeiro conjunto.

1	3	3	4	7	23	59	73
1	4	10	18	26	66	66	110
2	6	13	20	31	72	89	112
2	7	19	23	51	74	94	114
2	7	20	42	60	84	108	117
9	19	40	48	61	87	112	118
9	27	40	64	85	94	114	121
42	42	48	64	86	96	115	123

Tabela 4-41 - Melhor tabela de quantização para crominância b e r do primeiro conjunto.

1	2	3	15	36	40	59	80
1	4	9	22	47	76	86	102
1	9	18	32	52	76	93	110
3	10	23	38	58	78	103	123
3	10	25	44	68	83	112	125
5	10	25	44	79	83	115	125
8	17	28	50	82	107	119	125
21	33	37	78	93	109	121	125

Tabela 4-42 - Melhor tabela de quantização para luminância do segundo conjunto.

14	14	15	16	24	40	51	60
14	15	16	19	26	56	58	61
15	16	17	24	40	58	60	69
15	17	22	29	51	62	80	87
16	22	37	56	68	77	103	109
17	44	46	56	69	92	103	112
25	46	58	59	99	100	104	113
72	92	95	98	101	103	120	121

Tabela 4-43 - Melhor tabela de quantização para crominância b e r do segundo conjunto.

15	18	24	44	53	58	83	95
10	25	29	54	57	76	83	102
13	26	30	57	70	80	92	104
20	41	49	68	80	104	111	113
23	41	52	73	96	108	112	116
24	43	58	74	98	109	114	120
25	53	59	90	102	114	117	125
26	94	96	113	113	114	120	125

Tabela 4-44 - Melhor tabela de quantização para luminância do terceiro conjunto.

17	14	25	32	33	47	53	105
15	16	26	45	59	74	94	114
16	19	36	53	60	77	97	117
22	26	41	57	69	93	103	119
37	53	65	68	90	100	110	121
38	53	65	70	90	104	111	122
49	60	79	93	99	107	112	124
51	73	80	98	100	111	124	125

Tabela 4-45 - Melhor tabela de quantização para cromaticidade b e r do terceiro conjunto.

19	22	60	70	90	125	125	125
19	38	67	77	100	125	125	125
21	38	56	86	90	110	125	125
40	67	88	99	119	125	125	125
70	90	90	110	122	125	125	125
74	100	110	112	124	125	125	125
78	112	112	120	125	125	125	125
100	114	115	124	125	125	125	125

Os Gráficos 4.1 e 4.2 mostram a relação entre as variáveis PSNR e bpp de cada um dos conjuntos de tabelas selecionadas no parágrafo acima para a componente luminância e cromaticidades b e r, respectivamente.

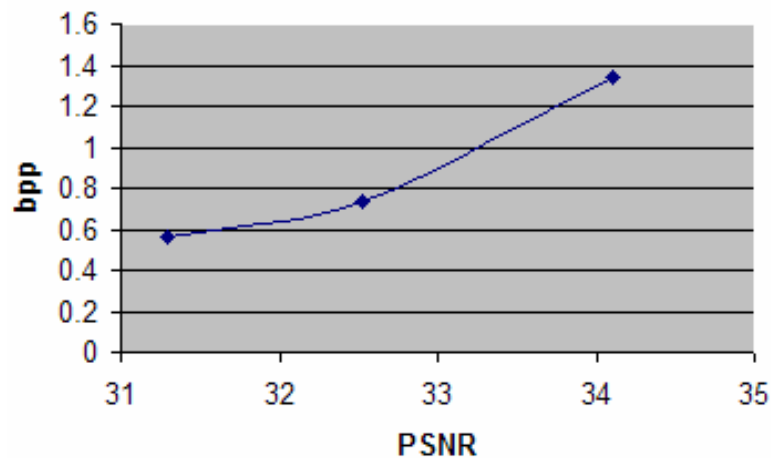


Gráfico 4-1 - Gráfico relação sinal ruído de pico x taxa bits por pixel para luminância.

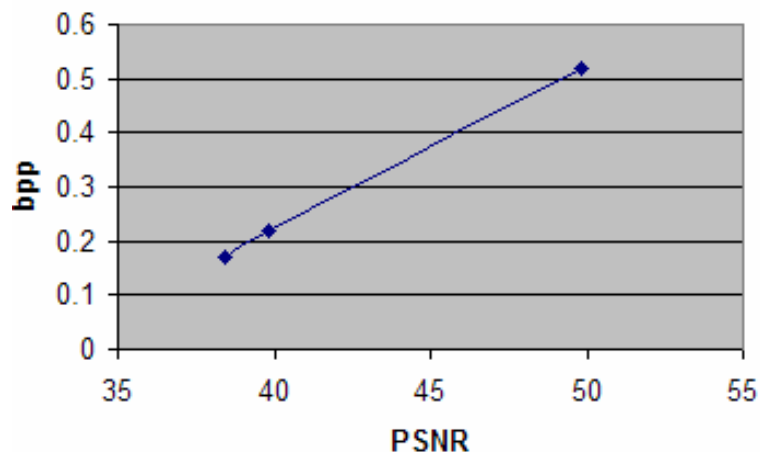


Gráfico 4-2 - Gráfico relação sinal ruído de pico x taxa bits por pixel para crominâncias b e r.

4.4 Simulação da Métrica

Nesta seção serão apresentados os resultados das simulações aplicando a métrica de bloqueamento apresentada neste trabalho. A imagem utilizada para realização dessas simulações foi a Lenna. A métrica apresentada funciona da seguinte maneira, a imagem processada pela métrica que possuir o menor número de blocos detectados como artefatos de bloqueamento é a melhor imagem reconstruída.

Lembrando que essa métrica trabalha sem a utilização da imagem original para realizar uma comparação, assim sendo, ela realiza um pré – processamento dos blocos que possuem os artefatos de bloqueamento, com essas blocos selecionados, a métrica calcula o valor BAV, que representa o valor do artefato de bloqueamento. É claro que quanto menor o número de blocos detectados menor será o valor de BAV.

Um ponto muito importante para se levar em consideração sobre essa métrica, é que um bloco detectado como artefato de bloqueamento na imagem reconstruída pelo algoritmo genético proposto não necessariamente tem que ser detectado na imagem reconstruída pelo algoritmo JPEG padrão, e vice versa, pois a métrica trabalha com uma

margem que ela a considera, como margem de bloqueamento, ou seja, os blocos que possuírem os valores dentro dessa margem, serão considerados potencialmente blocos com artefato de bloqueamento. A Tabela 4.46 mostra os valores para as simulações realizadas para encontrar os valores BAV da imagem Lenna, onde utiliza as tabelas de quantização encontradas no primeiro conjunto de simulações. Nas Figuras 4.67, 4.68, 4.69 e 4.70 é possível verificar as imagens da componente luminância, contendo artefatos de bloqueamento na vertical e na horizontal.

Tabela 4-46 - Valores dos artefatos de bloqueamento para as tabelas de quantização do primeiro conjunto.

BAV_{Total}						
Simulação	Algoritmo Genético			Algoritmo Padrão		
	Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
01	0.099	0.710	0.721	0.132	0.725	0.731
02	0.098	0.699	0.729	0.139	0.725	0.732
03	0.090	0.715	0.727	0.132	0.725	0.731
04	0.091	0.711	0.725	0.136	0.722	0.729
05	0.089	0.712	0.725	0.132	0.723	0.726

Foram realizadas cinco simulações para a conferência da métrica apresentada, em todas as simulações os valores do BAV do algoritmo genético foram menores que os do algoritmo JPEG padrão, assim, comprovando a eficiência do algoritmo genético proposto.



Figura 4-67 - Efeito de blockiness para luminância vertical do AG.



Figura 4-68 - Efeito de blockiness para luminância vertical do JPEG padrão.



Figura 4-69 - Efeito de blockiness para luminância horizontal do AG.



Figura 4-70 - Efeito de blockiness para luminância horizontal do JPEG padrão.

Fazendo uma análise, é possível constatar que o número de blocos detectados nas imagens reconstruídas pelo algoritmo JPEG padrão tanto na vertical quanto na horizontal

é maior que os detectados no algoritmo genético proposto, como já havia verificado numericamente pela Tabela 4.46.

Fazendo uma análise dos artefatos de bloqueamento encontrados pela métrica, aplicada na imagem Lenna, cuja foi processada com as tabelas de quantização do terceiro conjunto de simulações, foi possível verificar uma diferença no número de artefato de bloqueamento. Mesmo apresentando uma PSNR menor em relação à do padrão JPEG, pode-se verificar pela Tabela 4.47 e pelas Figuras 4.71 – 4.74.

Tabela 4-47 - Valores dos artefatos de bloqueamento para as tabelas de quantização do terceiro conjunto.

BAV_{Total}						
Simulação	Algoritmo Genético			Algoritmo Padrão		
	Y	Cb	Cr	Y	Cb	Cr
01	0.131	0.720	0.731	0.132	0.725	0.731
02	0.132	0.718	0.730	0.139	0.725	0.732
03	0.130	0.721	0.729	0.132	0.725	0.731
04	0.128	0.719	0.723	0.136	0.722	0.729
05	0.130	0.720	0.728	0.132	0.723	0.726



Figura 4-71 - Efeito de blockiness vertical do AG.



Figura 4-72 - Efeito de blockiness vertical do JPEG padrão.



Figura 4-73 - Efeito de blockiness horizontal do AG.



Figura 4-74 - Efeito de blockiness horizontal do JPEG padrão.

4.5 Verificação do Artefato de Ringing

Esse tipo de artefato é encontrado principalmente em partes da imagem reconstruída onde originalmente era um seguimento retilíneo, e agora não é mais, esse

seguimento retilíneo passou a ser um seguimento serrilhado (dentes), como pode ser verificado pelas Figuras 4.75, 4.76 e 4.77.

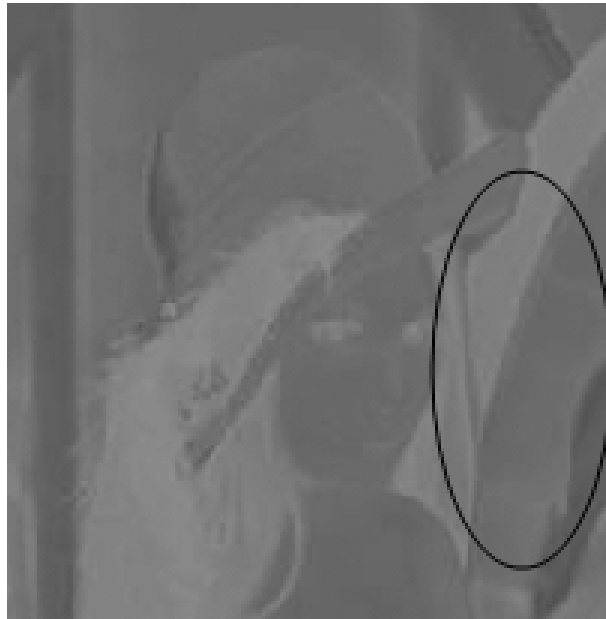


Figura 4-75 - Imagem original da crominância r para o artefato de ringing.

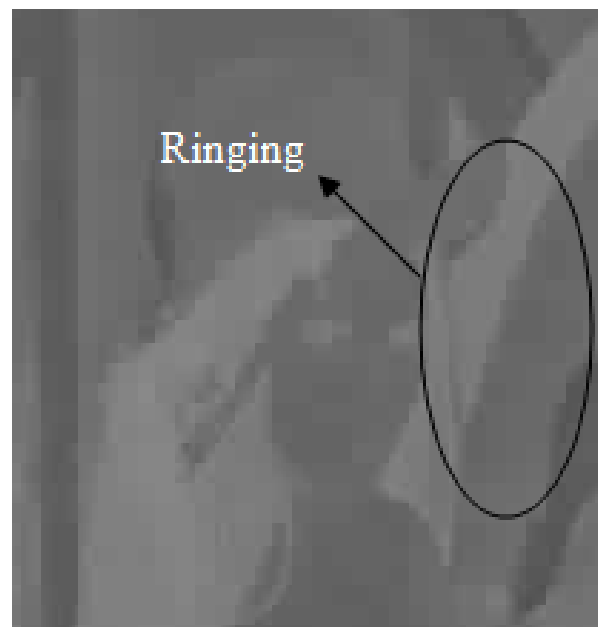


Figura 4-76 - Imagem crominância r do JPEG padrão para o artefato de ringing.

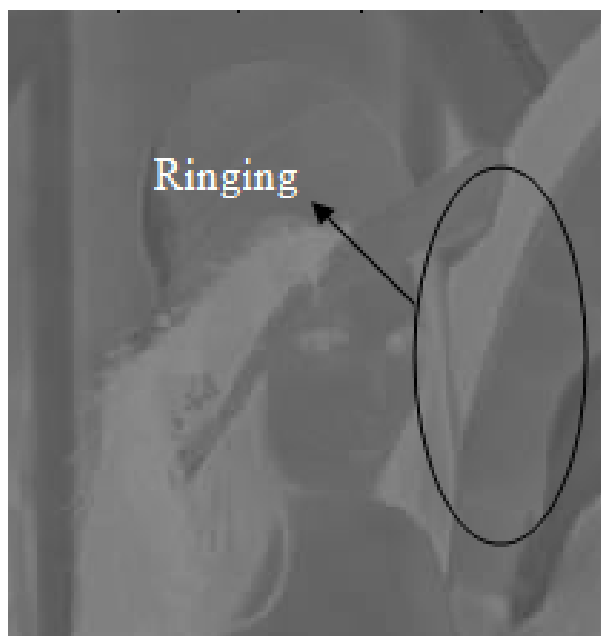


Figura 4-77 - Imagem crominância r do AG para o artefato de ringing.

Analisando as Figuras 4.75 – 4.77, é possível visualizar muito bem o artefato de *ringing* nas imagens reconstruídas, mas na imagem reconstruída pelo algoritmo JPEG padrão esse efeito é muito maior.

4.6 Considerações Finais deste Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as imagens (Lenna, Mandril e Zelda) geradas para cada componente (YCbCr) como resultado do processamento das tabelas de quantização encontradas pelo algoritmo genético proposto neste trabalho. Foram encontradas três conjuntos de tabelas de quantização, um conjunto cuja PSNR é 1 (um) dB acima do valor da PSNR do algoritmo JPEG e sua respectiva taxa de compressão (bpp); outro com as PSNR's iguais e por último, outro conjunto onde a PSNR do algoritmo genético é até 1 (um) dB menor que a PSNR do algoritmo JPEG.

Foram demonstrados os efeitos de *Ringings* e *Blockiness* para as imagens utilizadas nas simulações.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Neste capítulo, foi analisada a validade do trabalho, a eficiência do algoritmo genético proposto, bem como as contribuições e sugestões para pesquisas futuras.

5.1 Análise dos Resultados Obtidos

Os primeiros testes mostraram um aumento considerável na PSNR (relação sinal-ruído de pico) para as três componentes, mas um aumento maior para as componentes Cb e Cr, conforme as Tabelas 4.1, 4.14 e 4.28. Esse aumento pode ser notado visualmente, através das Figuras 4.4 – 4.12, Figuras 4.25 – 4.33 e Figuras 4.46 – 4.54, para imagem Lenna, Mandril e Zelda, respectivamente. Conseqüentemente a bpp (taxa de bits por pixel) para essas tabelas de quantização encontradas foram maiores que a bpp do JPEG padrão de acordo com as Tabelas 4.5, 4.19 e 4.31, para imagem Lenna, Mandril e Zelda, respectivamente.

Os segundos testes mostraram uma na PSNR (relação sinal-ruído de pico) quase igual para os dois algoritmos (AG e JPEG padrão) para as três componentes, mas com as componentes Cb e Cr do AG ainda maiores que do JPEG padrão, conforme as Tabelas 4.6, 4.20 e 4.32. Conseqüentemente a bpp (taxa de bits por pixel) para essas tabelas de quantização encontradas foram quase iguais a bpp do JPEG padrão de acordo com as Tabelas 4.7, 4.21 e 4.33, para imagem Lenna, Mandril e Zelda, respectivamente.

Os terceiros testes mostraram uma PSNR (relação sinal-ruído de pico) do AG menor até 1 dB para as três componentes, conforme as Tabelas 4.10, 4.24 e 4.36. Analisando a taxa de compressão (bpp) para essas tabelas de quantização constatou-se uma redução de 30% em relação a do JPEG padrão de acordo com as Tabelas 4.11, 4.25 e 4.37, para imagem Lenna, Mandril e Zelda, respectivamente.

Com isso, estabelece um conjunto de tabelas de quantização para cada tipo de necessidade, ou seja, deseja-se uma taxa de compressão menor, porém com uma qualidade melhor, utiliza-se as Tabelas 4.40 e 4.41. Deseja-se aplicar uma taxa de compressão um pouco maior, porém em consequência haverá uma suave diminuição da qualidade da imagem, utiliza-se as Tabelas 4.42 e 4.43. Agora quer aplicar uma taxa de compressão mais alta, diminuindo a bpp e também diminuindo um pouco a PSNR, porém mantendo um bom nível dos artefatos de bloqueamento, utiliza-se as Tabelas 4.44 e 4.45. Essa relação pode ser verificada visualmente nos Gráficos 4.1 e 4.2.

O tempo de execução do algoritmo foi considerado satisfatório por trabalhar com processamento de imagem colorida, o mesmo para uma imagem de 256x256 pixels foi por volta de 4 horas, mas esse tempo total foi gasto para a realização de todas as etapas, desde a geração da tabelas de quantização até a construção das imagens identificadas com artefatos de bloqueamento, tanto horizontal quanto vertical.

As imagens obtidas como resultados mostram uma melhora significativa tanto através de medidas objetivas quanto subjetivas, ou seja, PSNR, medida do efeito do artefato e visualmente. Analisando o efeito do artefato houve uma melhora nas imagens relativas às de componente luminância, para as três imagens testadas, mas essa melhora foi muito mais significativa para as imagens das componentes crominância b e

crominância r. Quando se diminuiu a taxa bits por pixel, conseqüentemente diminuiu um pouco a PSNR, porém conseguiu-se manter um nível melhor dos artefatos de bloqueamento em relação as tabelas de quantização do JPEG padrão.

Analisando o artefato de ringing é possível notar a grande diferença entre as imagens que empregaram as tabelas geradas pelo algoritmo genético proposto em relação às imagens geradas pelo algoritmo JPEG. As imagens do algoritmo genético apresentam um nível de serrilhamento muito menor, conforme as Figuras 4.75, 4.76 e 4.77; lembrando que nesta pesquisa não foi verificado o artefato de blur.

A métrica utilizada para a verificação do grau de artefato de bloqueamento (blockiness) foi aplicada com sucesso, encontrando um número menor de artefatos no algoritmo genético do que no algoritmo JPEG, tanto numericamente quanto visualmente. A métrica utilizada apresenta uma vantagem em relação a outras já apresentadas em trabalhos científicos, pois a mesma não necessita da imagem original para fazer a comparação com a imagem reconstruída.

5.2 Contribuições do Trabalho

O trabalho fornece duas contribuições importantes:

- Proposição do algoritmo genético como ferramenta para geração das tabelas de quantização para imagens coloridas;
- Avaliação comparativa com o padrão JPEG do efeito das tabelas nas imagens resultantes, através da PSNR e de uma métrica de artefato de bloqueamento.

Com relação à segunda contribuição deste trabalho, observou-se através de diversas simulações uma diminuição do efeito de artefatos de bloqueamento, principalmente para os artefatos de blockiness e ringing, e paralelamente o aumento na PSNR, o último em especial para o primeiro conjunto de tabelas de quantização. Para o último conjunto foi encontrada uma ótima bpp com uma PSNR relativamente boa, que não insere um nível de artefato de bloqueamento maior do que a JPEG padrão.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Uma sugestão pode ser feita para otimizar o algoritmo proposto neste trabalho, aproveitar os estudos realizados nesta pesquisa sobre algoritmos genéticos aplicados na DCT (transformada cosseno discreta), para realizar um estudo aplicando essa técnica no JPEG 2000, onde este faz uso da transformada Wavelet, o qual melhora a qualidade da imagem reconstruída, tanto para os artefatos de blockiness e ringing; aplicando-se essa arquitetura em imagens médicas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Halliday, D. Resnick, R. & Walker, J.: “Fundaments of Physics”, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] C. Wilson, G. Osvaldo. “Física”, Segunda Edição, Volume Único, Moderna.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Processamento Digital de Imagens, Editora Edgard Blucher LTDA. São Paulo, 2000.
- [4] B. G. Sherlock, A. Nagpal and D. M. Monro, A model for JPEG Quantization, *International Symposium on Speech, Image Processing and Neural Networks*, 13-16 April, 1994. Hong Kong.
- [5] G. K. Wallace, The JPEG Still Picture Compression Standard. *Maynard, Massachussets*, pp. 1-16, April . 1991.
- [6] Z. Fan and R. L. Queiroz, Maximum Likelihood Estimation of JPEG Quantization Table in the Identification of Bitmap Compression History, *Xerox Corporation*, 800 Phillips Road Webster, NY 14580.
- [7] L. W. Chang, C. Y. Wang and S. M. Lee, Designing JPEG Quantization Tables Based on Human Visual System. *Department of Computer Science, National Tsing Hua University Hsinchu 300*, Taiwan.
- [8] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, (Addison-Wesley, 1989)
- [9] P. Amal and G. B. Donald, Artefacts in Image and Video Systems: Classification and Mitigation, *Institute of Information Sciences & Tecchnology, Massey University*.

- [10] P. Farrelle and A. Jain, "Recursive block coding—A new approach to transform coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-34, pp. 161–179, 1986.
- [11] B. Hinman, J. Bernstein, and D. Staelin, "Short-space Fourier transform image processing," *Proc. IEEE ICASSP—Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 1, pp. 481–484, 1984.
- [12] H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: Transform coding without blocking effects," *IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing*, vol. 37, pp. 553–559, 1989.
- [13] Y. Zhang, R. Pickholtz, and M. Loew, "A new approach to reduce the blocking effect of transform coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, pp. 299–302, 1993.
- [14] A. Zakhori, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 2, pp. 91–95, 1992.
- [15] T. P. O'Rourke and R. L. Stevenson, "Improved image decompression for reduced transform coding artifacts," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 5, pp. 490–499, 1995.
- [16] Y. Yang, N. P. Galatsanos, and A. K. Katsaggelos, "Regularized reconstruction to reduce blocking artifacts of block discrete transform compressed images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 3, pp. 421–432, 1993.
- [17] M. Y. Shen and C.-C. J. Kuo, "Real-time compression artifact reduction via robust nonlinear filtering," *Proc. IEEE ICIP Image Processing*, vol. 2, pp. 565–569, 1999.
- [18] H.W. Park and Y. L. Lee, "A postprocessing method for reducing quantization effects in low bit-rate moving picture coding," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, pp. 161–171, 1999.

- [19] G. Wenfeng, M. Coskun and K. Yongmin, "A De-Blocking Algorithm and a Blockiness Metric for Highly Compressed Images," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 12, no. 12, December 2002.
- [20] *Video Coding for Low Bit Rate Communication*, ITU-T Recommendation H.263, 1995.