

## 4

# Emprego de Indicadores Morfológicos para Análise de Codificadores Orientados por Objeto

### 4.1

#### Introdução

Os esquemas de DCT Adaptativa à Forma (SA-DCT) [67]-[77] e de DCT baseada em blocos usando diferentes técnicas de extrapolação [76]-[83] são ferramentas importantes para as aplicações de codificação de vídeo baseada em objeto, prevista no padrão MPEG-4. Embora a SA-DCT seja uma transformada eficiente para a codificação de vídeo baseada em objeto, ela é definida por um conjunto de funções base de tamanhos distintos, tornando difícil o uso de algoritmos rápidos e circuitos dedicados. Uma opção atrativa é a DCT baseada em blocos associada às técnicas de extrapolação, que introduz pixels externamente ao objeto e aplica a DCT  $N \times N$  regular em cada bloco.

Neste capítulo serão propostos indicadores morfológicos para análise de codificadores orientados por objeto usando a SA-DCT e a DCT baseada em blocos com três diferentes técnicas de extrapolação aplicadas sobre os blocos de contorno: SEA-DCT - *Simplified Expanded Arbitrary-Shape DCT* [79], EA-DCT-MPEG4 - *Low-Pass Extrapolation - LPE* (do padrão MPEG-4) [82] e EI-DCT - *Extension/Interpolation DCT* [78],[80]. A técnica SEA-DCT calcula o valor médio dos pixels pertencentes ao objeto e atribui esse valor a todos os pixels externos à região segmentada em um bloco específico. Já o algoritmo EA-DCT-MPEG4 primeiro aplica a SEA-DCT e a seguir calcula de uma nova forma apenas os pixels imediatamente vizinhos ao objeto segmentado. Para cada um deles, é calculado o valor médio dos quatro pixels vizinhos: acima, abaixo, à esquerda e à direita (considerando apenas aqueles que pertencem ao objeto), sendo esse valor atribuído ao pixel a ser calculado. A última técnica, EI-DCT [78],[80], aplica a DCT-1D sobre os segmentos não nulos em uma direção — horizontal ou vertical, onde a cada um desses segmentos pertencem  $M$  pixels do objeto ( $0 < M < N$ ),

sendo que o valor de  $M$  pode variar de segmento a segmento. Um segmento com  $M$  pixels resulta em  $M$  pontos no domínio da transformada. A seguir são inseridos  $(N - M)$  zeros nesse domínio e aplicada a DCT-1D inversa aos  $N$  pontos resultantes, para que sejam obtidos  $N$  pontos interpolados no domínio espacial. Considerando que o número de segmentos não nulos na primeira direção da 1D-DCT é  $S$ , resultarão  $S$  segmentos com  $N$  pixels. O mesmo procedimento é realizado na outra direção, onde a DCT-1D é aplicada sobre  $N$  segmentos de tamanho  $S$ .

Usando-se como critério de desempenho a curva  $RPR \times bppo$  (razão pico-ruído *versus* a taxa média do número de bits por pixels do objeto), a comparação entre os algoritmos de codificação pode ser realizada independentemente do tamanho e da forma dos objetos, mesmo que as quantidades de coeficientes a quantizar sejam distintas. A  $RPR$  pode ser calculada para um conjunto arbitrário de blocos que contenham pixels da região segmentada através de

$$RPR = 10 * \log_{10} \left[ \frac{255^2 * NPO}{e_{quad}} \right] \quad (4-1)$$

$NPO$  é o número total de pixels do objeto nos blocos a serem codificados e  $e_{quad}$  corresponde à soma dos quadrados dos erros de codificação dos pixels do objeto recuperado. A taxa usada para a avaliação -  $bppo$  - corresponde à razão entre o número total de bits alocados no processo de quantização e o número de pixels pertencentes à região segmentada.

Neste capítulo será mostrado que a comparação entre os desempenhos dos algoritmos de DCT baseada em blocos e da SA-DCT pode ser feita com base em algumas características de forma e textura do objeto, que denominaremos Indicadores Morfológicos. O capítulo está organizado da seguinte maneira: a Seção 4.2 reporta-se às condições experimentais, que serão as mesmas adotadas nos capítulos restantes. Os Indicadores Morfológicos são descritos na Seção 4.3 e a análise de desempenho a partir dos indicadores morfológicos é apresentado na Seção 4.4. Finalmente, as principais conclusões são resumidas na Seção 4.5.

## 4.2

### Condições de Realização dos Testes

Para a implementação dos algoritmos de codificação, foram usados blocos de dimensão  $8 \times 8$ . Portanto, nos esquemas de DCT baseada em blocos haverá sempre 64 coeficientes a serem quantizados em cada um dos

blocos da região segmentada, independentemente de serem blocos cheios ou blocos de contorno. Por outro lado, no algoritmo de SA-DCT [67], o número de coeficientes a quantizar é igual ao número de pixels que pertencem ao objeto segmentado. O uso da taxa  $bppo$  permite a comparação entre as duas abordagens ao se usar o mesmo número médio de bits para cada pixel do objeto. Note-se que no algoritmo de SA-DCT, a taxa  $bppo$  irá corresponder exatamente à média de  $bpcq$  - bits por coeficiente a ser quantizado. Entretanto, no caso da DCT baseada em blocos, a média de  $bpcq$  será menor que a taxa  $bppo$ . Para a obtenção das taxas em  $kbps$ , basta multiplicar a taxa  $bppo$  pelo número de pixels do objeto a serem transmitidos em 1 ms, independente se o esquema de codificação é a SA-DCT ou a DCT baseada em blocos, ou seja, independente do número de coeficientes a quantizar.

Neste capítulo, os experimentos foram realizados sobre um plano de um objeto de vídeo - VOP - das seqüências: *CHILDREN* (144x176 pixels) - objeto 1, quadros 1 a 11, *FISH AND LOGO* (240x352 pixels) - objeto 1, quadros 10 a 20 e *WEATHER* (144x176 pixels) - quadros 1 a 11, além dos objetos dos quadros *AKYIO* (320x384 pixels), *LENA* (512x512 pixels) e *PEPPER* (512x512 pixels) - objeto 2.

A Tabela 4.1 mostra a equivalência das taxas  $bppo$  às taxas  $bpcq$  ao se utilizar a DCT baseada em blocos. Para o cálculo da taxa  $bpcq$ , foram utilizados os valores de  $npo$  - número de pixels do objeto e de  $NB$  - número total de blocos a codificar. Na Tabela 4.2 é mostrada a equivalência das taxas  $bppo$  às taxas de transmissão em  $kbits/s$  -  $kbits/s$ , transmitindo-se, no caso das seqüências de vídeo, 10 quadros/s.

Tabela 4.1: Taxas em  $bpcq$  equivalentes às taxas de  $bppo$  para a DCT baseada em blocos

<b>OBJETOS</b>	$npo$	$NB$	$bppo$	0,2	0,5	1	2	5	8
<i>CHILDREN</i>	19929	488	$bpcq$	0,128	0,319	0,638	1,276	3,190	5,105
<i>FISH AND LOGO</i>	34269	801		0,134	0,334	0,668	1,337	3,342	5,348
<i>WEATHER</i>	76771	1409		0,170	0,426	0,851	1,703	4,257	6,811
<i>AKYIO</i>	37898	637		0,186	0,465	0,930	1,859	4,648	7,437
<i>LENA</i>	127351	2084		0,191	0,477	0,955	1,910	4,774	7,639
<i>PEPPER</i>	48081	820		0,183	0,458	0,916	1,832	4,581	7,329

Com o objetivo de comparar os diversos algoritmos, os mesmos procedimentos de quantização foram empregados. O coeficiente DC foi uniformemente quantizado com 8 bits, ao passo que os coeficientes AC empregaram quantizadores laplacianos não uniformes. A alocação de bits ótima para os

Tabela 4.2: Taxas em *kbps* equivalentes às taxas em *bppo* (independem do esquema de codificação)

<b>OBJETOS</b>	<i>bppo</i>	0,2	0,5	1	2	5	8
<i>CHILDREN</i>		3,6	9,1	18,1	36,2	90,6	144,9
<i>FISH AND LOGO</i>	<i>kbps</i>	6,2	15,6	31,2	62,3	155,8	249,2
<i>WEATHER</i>		14,0	34,9	69,8	139,6	349,0	558,3

coeficientes AC, considerando-se distribuição de probabilidade laplaciana, é uma função de suas variâncias [90] e é dada por:

$$B_i = B_0 + \frac{1}{2} \log_2[\sigma_i^2 / (\prod_{j=2}^{64} \sigma_j^2)^{\frac{1}{63}}] \quad i = 2, \dots, 64 \quad (4-2)$$

onde  $B_i$  é o número de bits alocados para o  $i$ -ésimo coeficiente AC,  $\sigma_i^2$  é a sua variância e  $B_0$  é um parâmetro que permite mudar a taxa média requerida. Caso seja calculado um valor negativo de bits para um ou mais coeficientes a partir da aplicação da Equação 4-2, atribuem-se zero bits para esses coeficientes e recalcula-se o total do número de bits alocados por bloco. Se essa quantidade de bits produzir uma taxa média superior à requerida, diminui-se um bit do último coeficiente na varredura zig-zag e procede-se um novo cálculo do total de bits. Se a taxa permanece superior à requerida, diminui-se um bit do coeficiente anterior, repetindo-se esse processo até que a taxa seja igual ou inferior à desejada.

As estatísticas dos coeficientes para um dado objeto são calculadas para cada estratégia, uma vez que o conjunto de coeficientes gerados por uma ou por outra é diferente. A média e a variância dos coeficientes localizados em uma mesma posição dos blocos no domínio da transformada são calculados, quantizados e transmitidos como informação paralela (64 valores de média e 64 valores de variância por objeto) e o número de bits alocados para cada coeficiente na codificação é calculado a partir dos valores de variância quantizados. Apenas para efeito de estimativa da sobretaxa devido à transmissão de informação paralela, consideremos que sejam utilizados 5 bits para a quantização de cada um dos valores de média e variância dos coeficientes. Nesse caso, serão necessários 640 bits de informação paralela. Para as taxas médias de 0,2 *bppo*, 0,5 *bppo* e 1 *bppo*, a Tabela 4.3 fornece os valores relativos ao aumento percentual do número de bits para a codificação dos objetos, ao ser considerada essa informação paralela. Note-se que com exceção dos acréscimos obtidos para a taxa de 0,2 *bppo*, para algumas imagens, esse acréscimo é relativamente bem pequeno.

Para o traçado das curvas de  $RPR \times bppo$ , não foi considerada na

Tabela 4.3: Aumento percentual no número de bits, ao considerar-se a informação paralela para a transmissão das estatísticas dos coeficientes

<b>OBJETOS</b>	<i>bppo</i>	0,2	0,5	1
<i>CHILDREN</i>		16,06%	6,42%	3,21%
<i>FISH AND LOGO</i>	<b>Aumento percentual no número de bits</b>	9,34%	3,74%	1,87%
<i>WEATHER</i>		4,17%	1,67%	0,83%
<i>AKYIO</i>		8,44%	3,38%	1,69%
<i>LENA</i>		2,51%	1,01%	0,50%
<i>PEPPER</i>		6,66%	2,66%	1,33%

taxa *bppo* a informação paralela para a transmissão dos valores de média e variância dos coeficientes, uma vez que todas as estratégias de codificação necessitariam da mesma quantidade de bits.

### 4.3

#### Descrição do Objeto através de Indicadores Morfológicos

O objetivo dos experimentos neste capítulo é determinar a influência de alguns indicadores morfológicos sobre o desempenho da SA-DCT e dos algoritmos de DCT baseada em blocos. Inicialmente serão descritos os indicadores morfológicos que irão dar suporte à análise comparativa das abordagens de codificação orientada por objeto na seção seguinte.

O primeiro indicador a ser considerado é a ‘Área Efetiva’ - *AE*, que corresponde à porcentagem da área ocupada por todos os blocos que contêm pixels do objeto que efetivamente pertence à região segmentada, sendo dada por:

$$AE = \frac{64.NTB}{NPO} \quad (4-3)$$

onde *NTB* é o número total de blocos a codificar e *NPO* é o número de pixels do objeto.

A Tabela 4.4 mostra o indicador *AE* para os objetos considerados neste estudo. Nota-se que *CHILDREN* e *FISH AND LOGO* possuem valores baixos de *AE*. *WEATHER* apresenta o indicador *AE* cerca de 33% maior que *CHILDREN* e para *AKYIO*, *LENA* e *PEPPER*, esse indicador é ainda maior: de 40 a 50% maiores que em *CHILDREN*.

O segundo indicador é a ‘Distribuição de blocos de acordo com o Número de Pixels do Objeto’ - *DNPO*, no qual os blocos de contorno são separados em 10 grupos, G1 a G10, e o grupo G11 é representado por todos os blocos cheios. Considerando blocos com 64 pixels, em G1 estão os blocos que possuem de 1 a 7 pixels; em G2, os blocos com 8 a 13 pixels; em G3,

Tabela 4.4: Área Efetiva dos objetos

OBJETOS	AE - Área Efetiva
<i>CHILDREN</i>	63,8%
<i>FISH AND LOGO</i>	66,8%
<i>WEATHER</i>	85,1%
<i>AKYIO</i>	93,0%
<i>LENA</i>	95,5%
<i>PEPPER</i>	91,6%

os blocos com 14 a 19 pixels; em G4, os blocos com 20 a 25 pixels; em G5, os blocos com 26 a 32 pixels; em G6, os blocos com 33 a 38 pixels; em G7, os blocos com 39 a 44 pixels; em G8, os blocos com 45 a 50 pixels; em G9, os blocos com 51 a 56 pixels e em G10, os blocos com 57 a 63 pixels. O indicador DNPO informa a porcentagem de blocos em cada um desses grupos para um dado objeto.

A Figura 4.1 mostra o indicador *DNPO* para os objetos citados, considerando todos os blocos, onde pode ser observado que *CHILDREN* possui a maior porcentagem de blocos de contorno (67,8 %), seguido de *FISH AND LOGO* (63,8 %), *WEATHER* (28,8 %), *PEPPER* (16,2 %), *AKYIO* (13,7 %) e *LENA* (8,5 %). Plotando-se o indicador DNPO apenas para os grupos de blocos de contorno, como faz a Figura 4.2, pode ser visualizada a distribuição desses blocos pelos grupos G1 a G10.

O terceiro indicador é a '*Textura dos blocos de acordo com o Número de Pixels do Objeto*' - TNPO, que corresponde à média dos desvios padrões das luminâncias dos blocos em cada um dos grupos. Para calcular o TNPO, são considerados somente os pixels do objeto.

A Figura 4.3 mostra o indicador TNPO. Pode ser observado que nos blocos mais vazios (G1 a G6), as texturas de *CHILDREN* ficam sempre abaixo do valor 35. Texturas maiores são encontradas apenas nos blocos de contorno mais cheios (G7 a G10). Em *FISH AND LOGO*, as texturas são maiores que 35 em vários grupos, sendo menores que 30 somente em G1. O objeto de *WEATHER* apresenta texturas baixas apenas nos blocos vazios (G1 e G2) e nos blocos mais cheios (G10 e G11). Os objetos de *AKYIO* e *PEPPER* (objeto 2) apresentam texturas inferiores a 30 em todos os grupos, ressaltando-se as baixíssimas texturas de *PEPPER*. *LENA*, por sua vez, apresenta texturas de baixas a médias, dependendo do grupo.

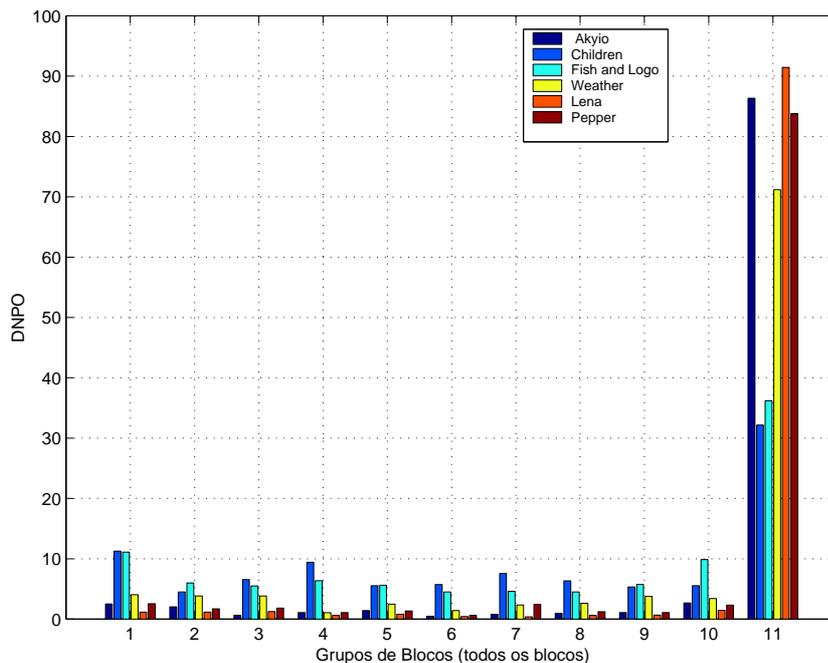


Figura 4.1: Distribuição (porcentagem) de blocos de acordo com o Número de Pixels do Objeto - DNPO (é mostrado o indicador para todos os grupos)

#### 4.4

#### Análise segundo os Indicadores Morfológicos e Discussões

##### 4.4.1

##### Esquemas de DCT Baseada em Blocos

Segundo a abordagem de codificação usando a DCT baseada em blocos, foram implementadas três diferentes técnicas de extrapolação sobre os blocos de contorno, gerando os algoritmos SEA-DCT, EA-DCT-MPEG4 e EI-DCT, conforme detalhados na Seção 4.1. As Figuras 4.4 a 4.9 apresentam os resultados de simulação obtidos sobre os blocos de contorno, a partir dos quais se constata que o algoritmo EI-DCT proporciona os maiores ganhos de desempenho a taxas baixas, médias e altas. O algoritmo só foi superado pelo SEA-DCT e pelo EA-DCT-MPEG4 a taxas muito altas (acima de 7 e 8 *bppo*, respectivamente), no caso da seqüência *FISH AND LOGO*, que é um objeto com os grupos apresentando texturas bastante altas.

O ganho de desempenho do algoritmo EI-DCT a taxas baixas e médias deve-se ao fato de que o algoritmo fornece um número menor de coeficientes não nulos que os algoritmos EA-DCT-MPEG4 e SEA-DCT, aumentando a eficiência de codificação, além de otimizar a alocação de bits em virtude da diminuição da variância dos coeficientes de alta freqüência. A taxas altas, essa característica passa a não ser mais tão relevante e os grupos

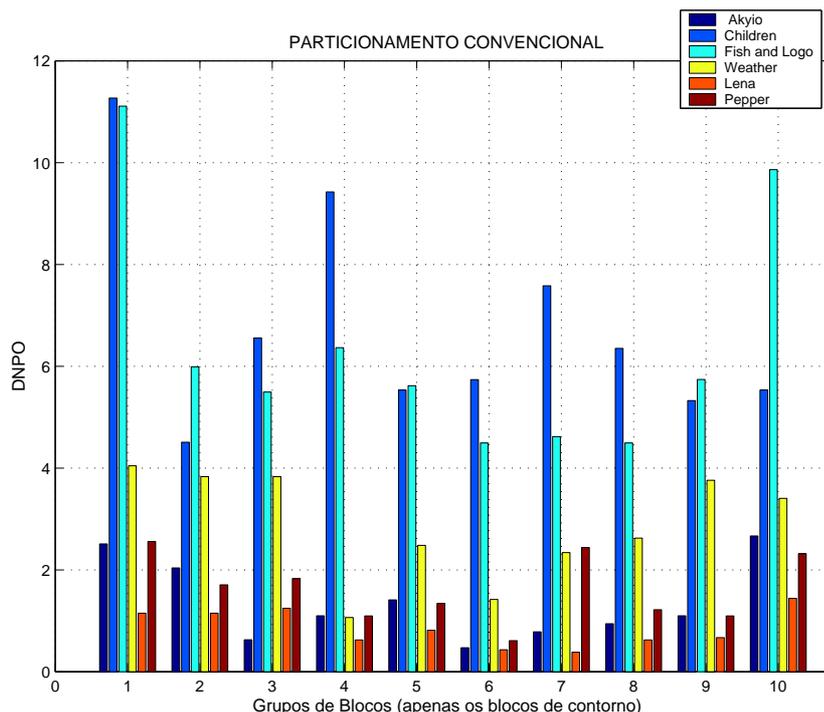


Figura 4.2: Distribuição (porcentagem) de blocos de acordo com o Número de Pixels do Objeto - DNPO (é mostrado o indicador apenas para os grupos de blocos de contorno)

de G8 a G11, quando apresentam texturas altas (como ocorre em G8, G9, G10 e G11 em *FISH AND LOGO* e em G9, em *AKYIO*), normalmente são pior codificados com o esquema EI-DCT. Ao contrário, os grupos mais vazios (G1 a G7) normalmente apresentam melhores desempenhos de codificação com o EI-DCT. Isso pode ser observado comparando-se os desempenhos desses grupos nos pares de Figuras 4.10 e 4.11 e Figuras 4.12 e 4.13. Esses gráficos mostram os desempenhos de codificação médios associados aos blocos de cada um dos grupos (G1 a G11) dos objetos *FISH AND LOGO* e *AKYIO*, cujos blocos de contorno foram extrapolados e codificados utilizando-se as estratégias EI-DCT e EA-DCT-MPEG4, que foi a segunda em desempenho. Cada uma dessas figuras apresenta 11 curvas, uma para cada grupo, e cada um dos pontos dessas curvas representa o desempenho do grupo ( $RPR \times bppo$ ) a uma dada taxa de  $bppo$  média requerida para a codificação do objeto completo. Como o traçado das curvas foi limitado à taxa de 8  $bppo$  para cada grupo, as curvas referentes aos grupos de blocos mais vazios, que apresentam altíssimas taxas de  $bppo$ , possuem poucos pontos.

Como o algoritmo EI-DCT foi o mais eficiente dentre as estratégias de extrapolação associadas à DCT, na seção seguinte as análises apresentadas serão feitas apenas sobre os algoritmos EI-DCT e SA-DCT, procurando-se

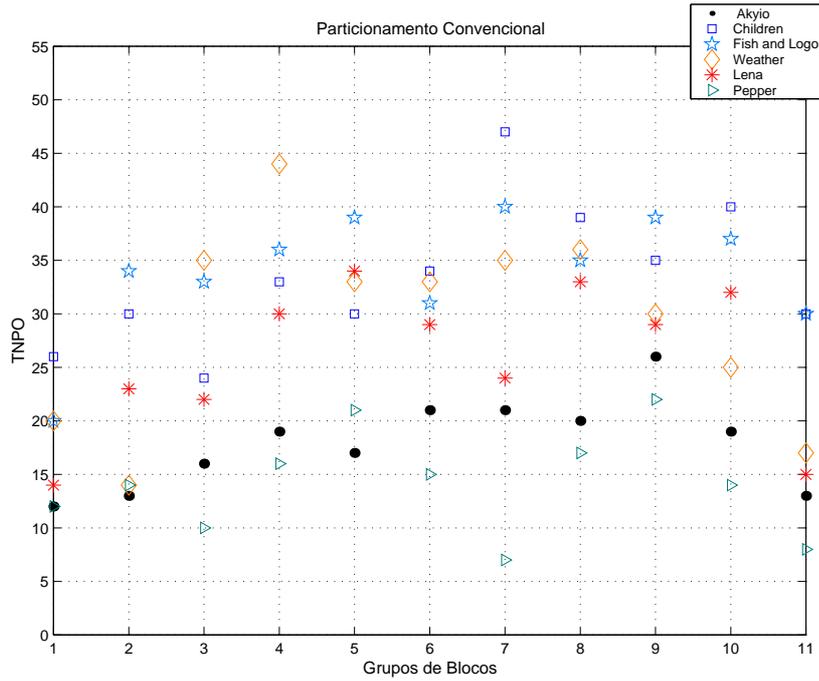


Figura 4.3: Textura de acordo com o Número de Pixels do Objeto - TNPO (é mostrado o indicador para todos os grupos)

relacionar os desempenhos das duas diferentes abordagens de codificação orientada por objeto aos indicadores morfológicos de um objeto específico.

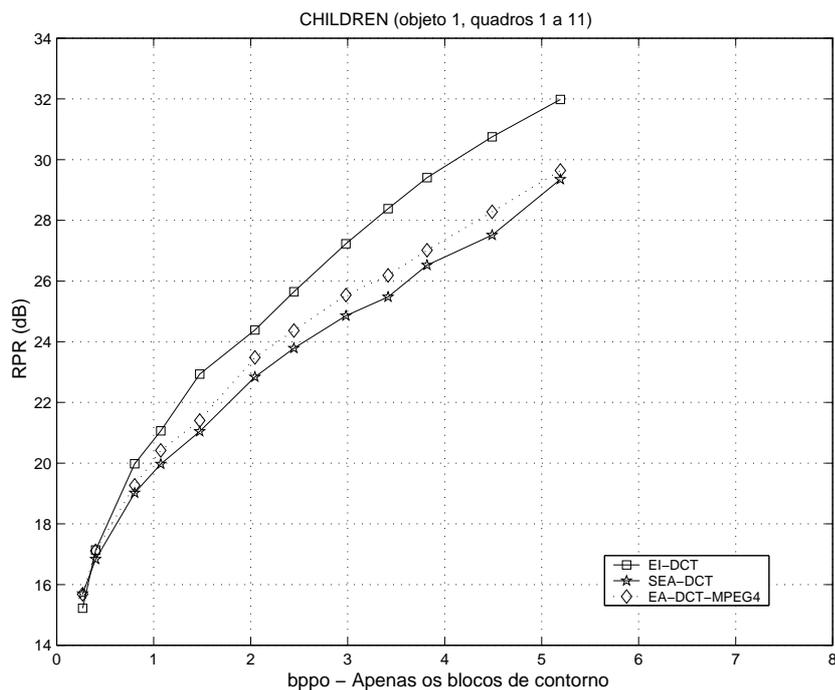


Figura 4.4: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *CHILDREN*

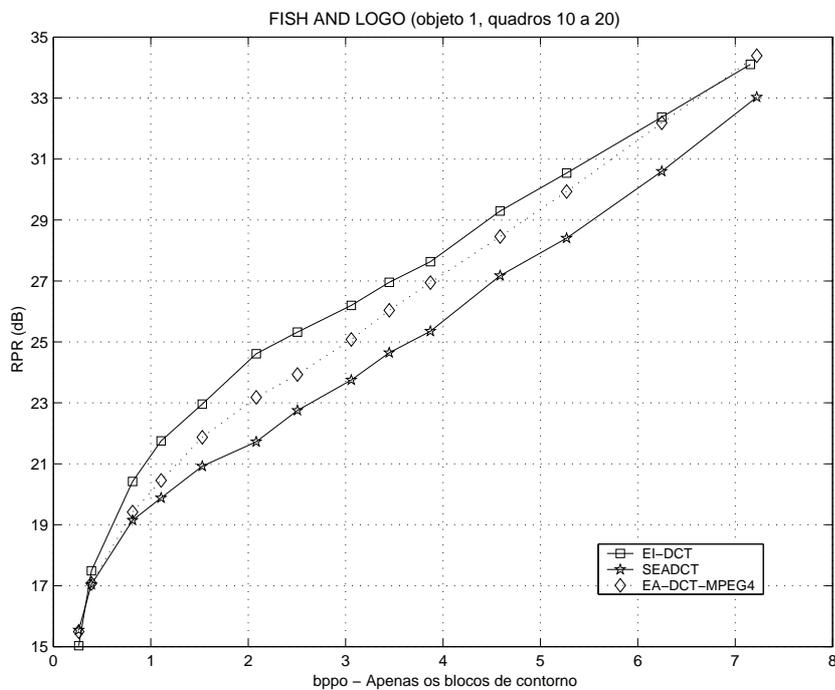


Figura 4.5: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *FISH AND LOGO*

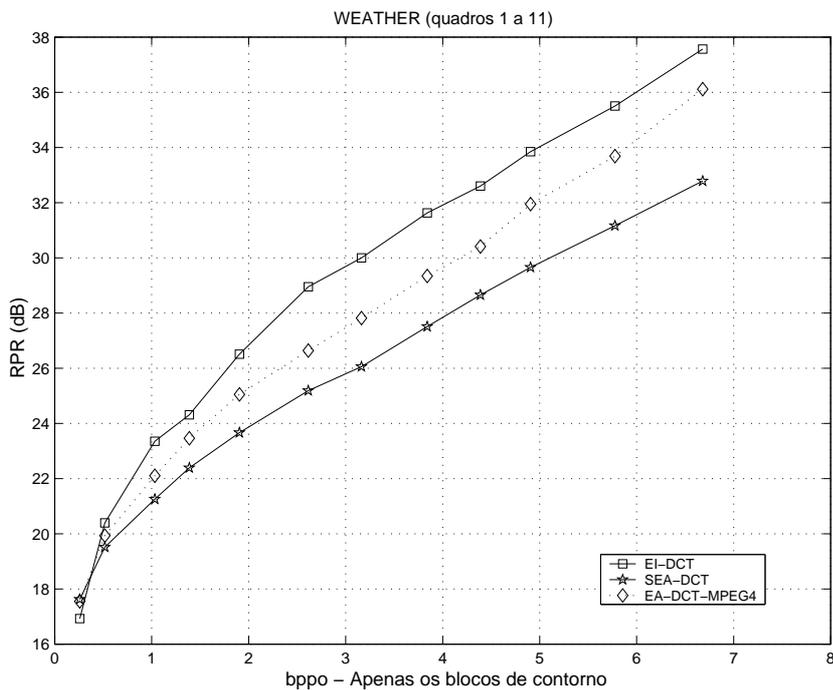


Figura 4.6: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *WEATHER*

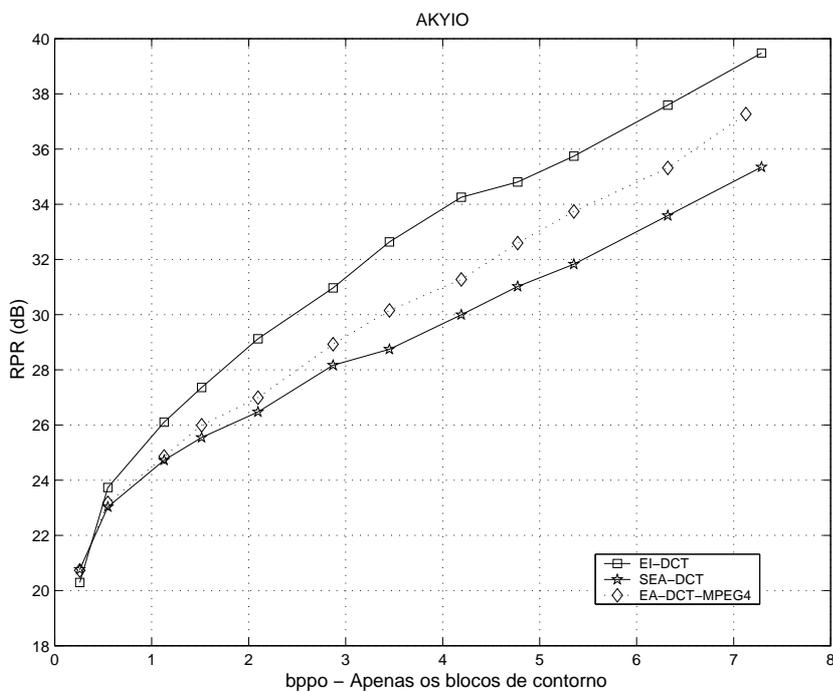


Figura 4.7: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre o quadro *AKYIO*

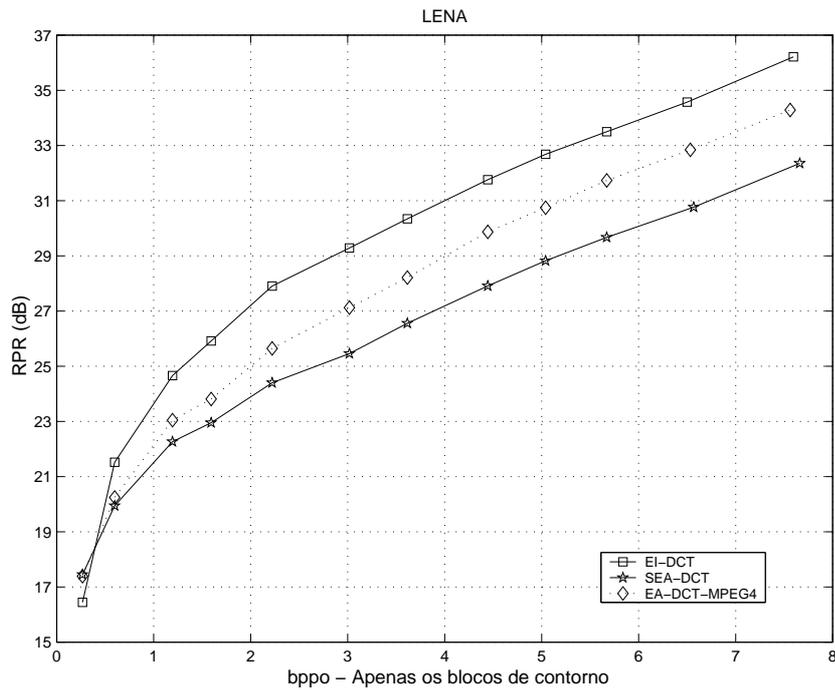


Figura 4.8: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre o quadro *LENA*

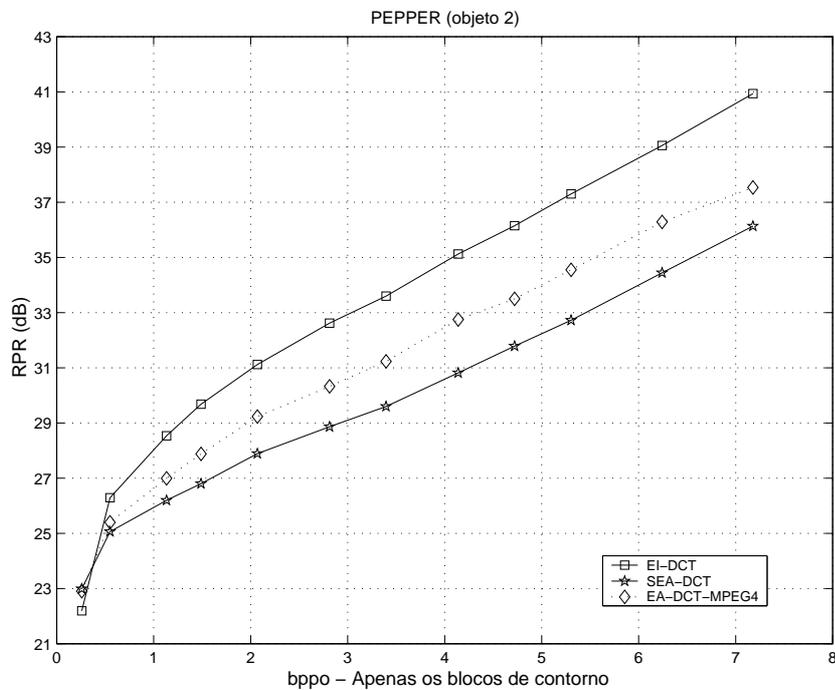


Figura 4.9: Desempenho dos vários algoritmos de DCT baseada em blocos implementados sobre 1 objeto do quadro *PEPPER*

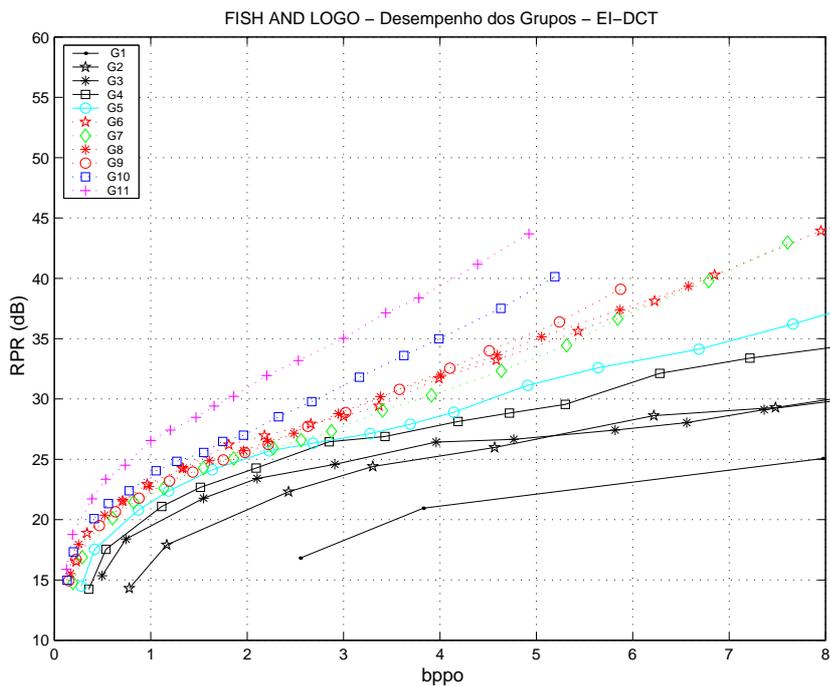


Figura 4.10: Desempenho dos vários grupos da seqüência *FISH AND LOGO*, quando codificada com o algoritmo EI-DCT.

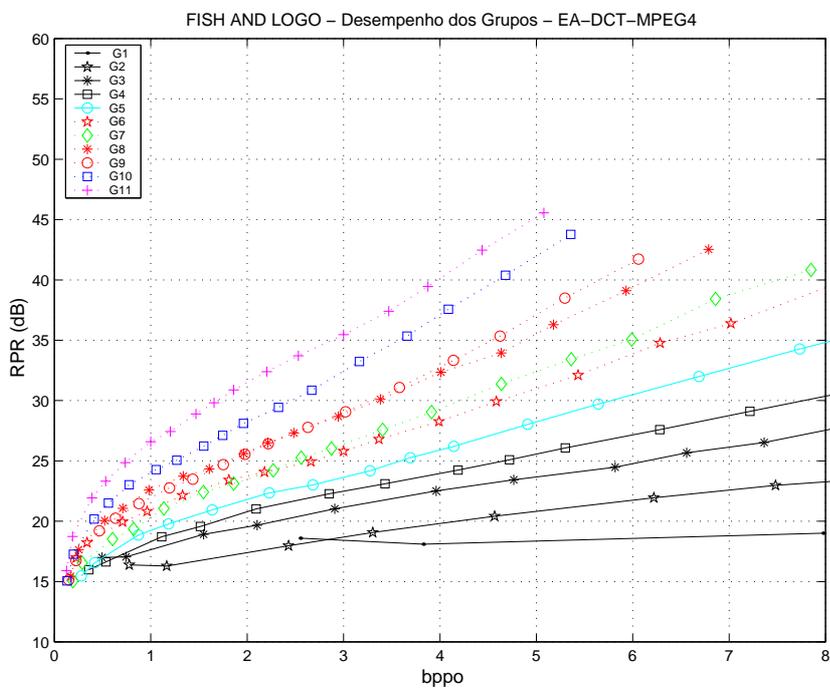


Figura 4.11: Desempenho dos vários grupos da seqüência *FISH AND LOGO*, quando codificada com o algoritmo EA-DCT-MPEG4

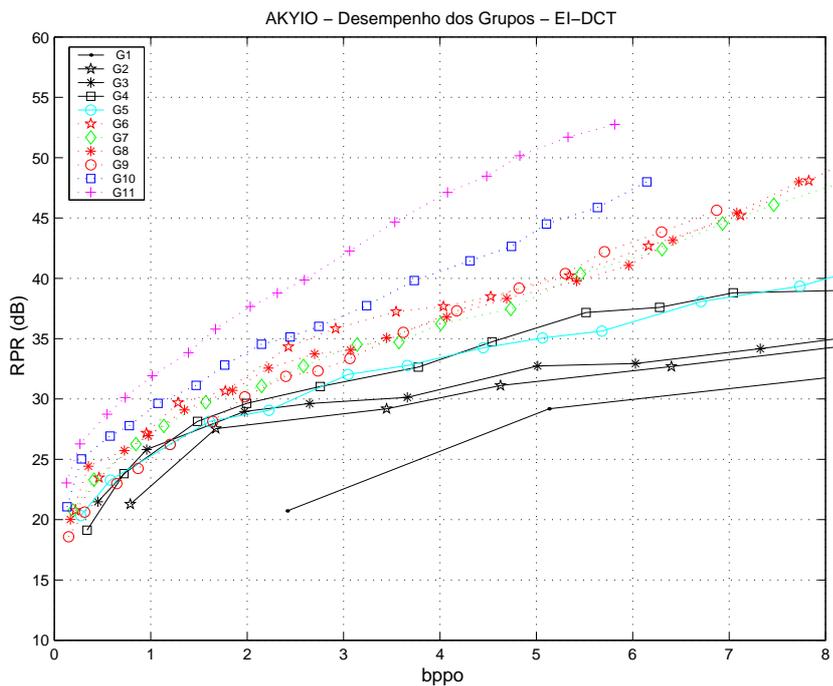


Figura 4.12: Desempenho dos vários grupos no quadro *AKYIO*, quando codificado com o algoritmo EI-DCT.

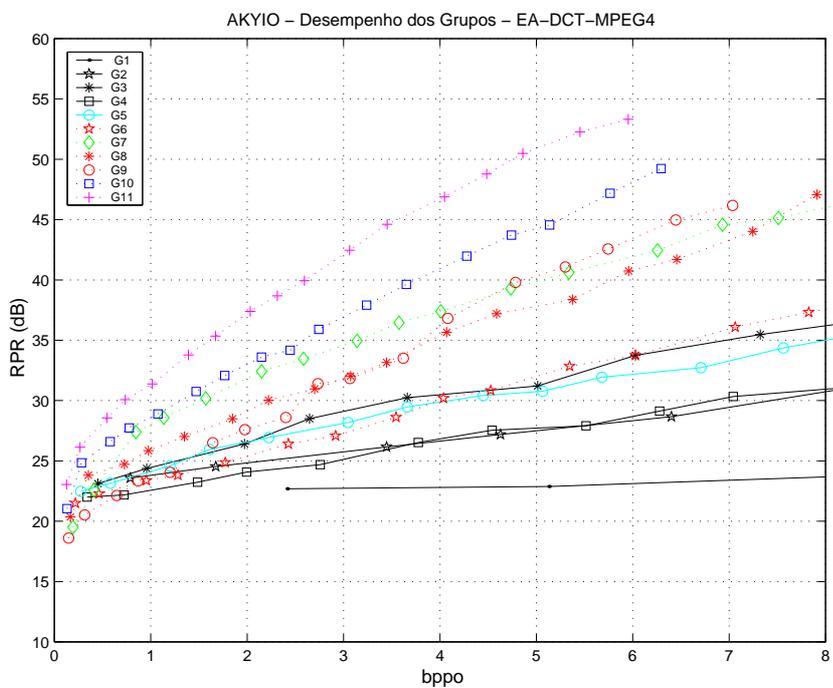


Figura 4.13: Desempenho dos vários grupos no quadro *AKYIO*, quando codificado com o algoritmo EA-DCT-MPEG4

#### 4.4.2 Algoritmos SA-DCT e EI-DCT

Para a comparação entre as abordagens SA-DCT e DCT baseada em blocos, optou-se pela análise dos resultados de todos os blocos codificados, ao invés de apenas os blocos de contorno, uma vez que o desempenho de codificação dos blocos inteiros (aqueles pertencentes ao grupo G11) pode ser bastante diferenciado se a abordagem de codificação não for a mesma. Isso deve-se a dois fatos: primeiro, os conjuntos finais de coeficientes com estatísticas distintas, produzindo diferentes alocações de bits. Como será visto posteriormente, blocos mais cheios podem ser melhor codificados com SA-DCT ou EI-DCT, dependendo das texturas médias do objeto. Normalmente, a alocação de bits gerada pela estratégia EI-DCT é mais apropriada para a codificação de blocos cheios em objetos de textura alta. Essa técnica proporciona uma suavização da textura nos blocos de contorno, proporcionando uma maior concentração de energia nos coeficientes de baixa frequência e assim reduzindo a variância dos coeficientes de alta frequência, o que em geral torna a alocação de bits mais eficiente. Já objetos com texturas muito suaves, como *PEPPER*, resultarão em alocações de bits mais adequadas para a codificação de blocos cheios se a estratégia escolhida for a SA-DCT. Isso acontece porque, sendo a textura extremamente baixa, a suavização de textura proporcionada pela técnica EI-DCT será menos significativa. Além disso, a taxa de *bpp* média para os blocos cheios nos objetos codificados com a SA-DCT é maior do que nos casos em que os objetos são codificados usando algoritmos de DCT baseada em blocos.

O outro fato é que no algoritmo SA-DCT, como o número de coeficientes a quantizar é igual ao número de pixels do objeto, a quantidade de bits alocados para a codificação de cada bloco é tanto maior quanto mais cheio ele for. Já na DCT baseada em blocos, onde 64 coeficientes devem ser quantizados sempre, independente do número de pixels do objeto no bloco, todos os blocos utilizam a mesma quantidade de bits para a sua codificação. Para que ambas as abordagens produzam taxas de *bpp* equivalentes, os blocos vazios utilizarão um maior número de bits na DCT baseada em blocos que na SA-DCT, ao passo que nos blocos mais cheios acontecerá o contrário. Portanto, os blocos do grupo G11 serão codificados com um número maior de bits na SA-DCT do que na DCT baseada em blocos, principalmente em objetos com baixo valor de *AE*, como *CHILDREN* e *FISH AND LOGO*.

O gráfico da Figura 4.14, que apresenta os resultados de codificação apenas dos blocos cheios (grupo G11) de *FISH AND LOGO* usando ora a SA-DCT, ora a EI-DCT, ilustra essa situação. Ambas as curvas apresentam

17 pontos, cada um dos quais correspondendo a uma dada taxa média de  $bppo$  requerida para a codificação do objeto completo. Observa-se que, embora a curva de desempenho do algoritmo EI-DCT esteja acima da curva do algoritmo SA-DCT (devido às altas texturas de *FISH AND LOGO*), será visto posteriormente que o segundo, por poder utilizar mais bits para a codificação dos blocos cheios, consegue alcançar desempenhos superiores. Isso será refletido nas curvas de desempenho geral, quando todos os blocos serão considerados para o cálculo de  $RPR$ .

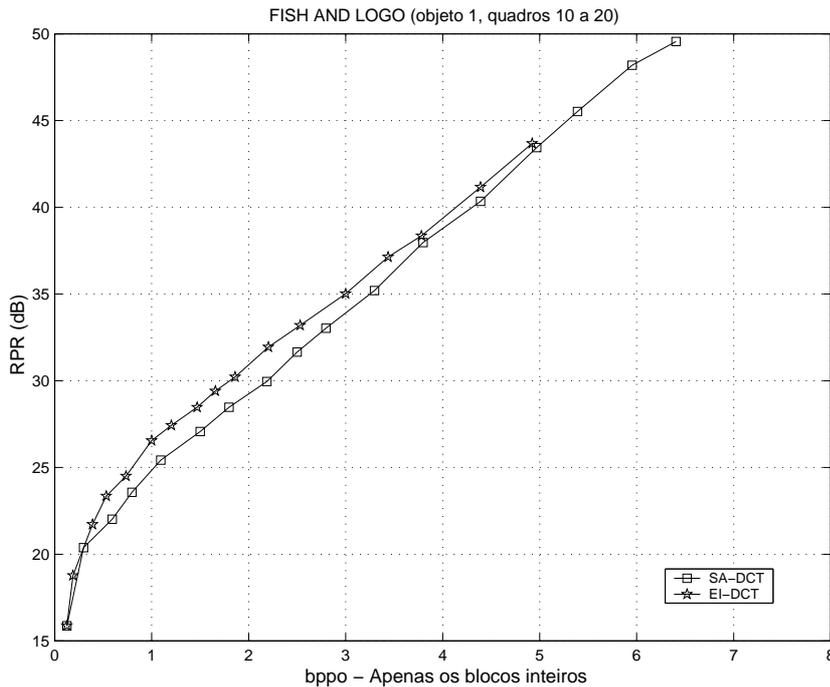


Figura 4.14: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *FISH AND LOGO* - Grupo G11

Nos objetos com alto valor de  $AE$  (Tabela 4.4), como por exemplo *PEPPER*, *AKYIO* e *LENA*, o número de bits alocados para os blocos cheios, comparando-se as abordagens de SA-DCT e DCT baseada em blocos, não apresentará diferenças significativas. Nesse caso, objetos com texturas maiores, como *LENA*, apresentarão um desempenho de codificação dos blocos cheios ligeiramente melhor utilizando-se o algoritmo EI-DCT (Figura 4.15), que será superado pela SA-DCT somente a taxas muito altas. Objetos com texturas baixas, como *PEPPER* (Figura 4.16), terão os blocos cheios melhor codificados com a SA-DCT, já a taxas baixas.

As Figuras 4.17 a 4.22 mostram as curvas de  $RPR \times bppo$  para os objetos codificados com os algoritmos SA-DCT e EI-DCT, a taxas variando de 0,1 a 8  $bppo$ , considerando-se todos os blocos codificados e não apenas os blocos de contorno, dadas as razões que acabamos de citar.

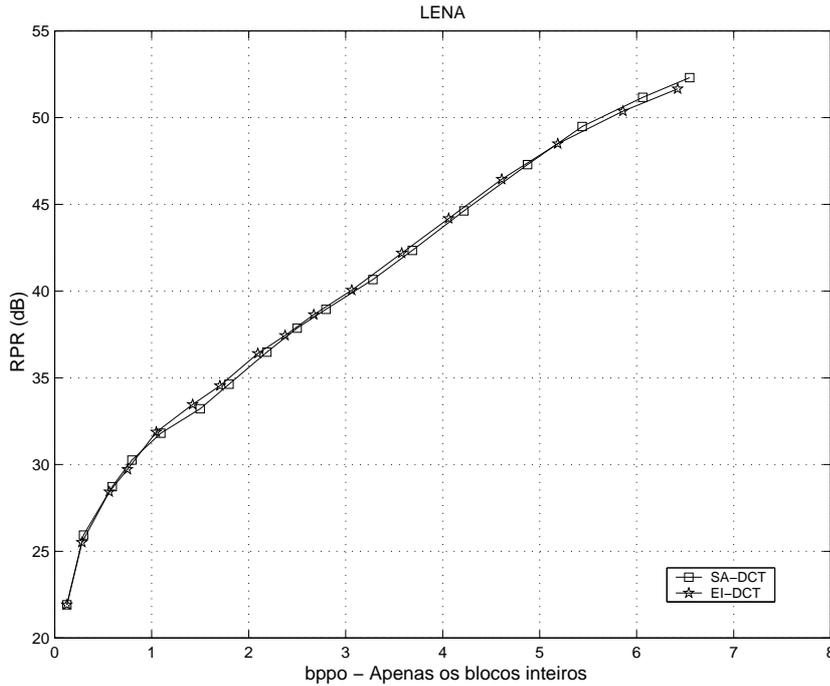


Figura 4.15: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre o quadro *LENA* - Grupo G11.

É visto a partir dessas figuras que, em geral, quanto maior o indicador *AE*, melhor é o desempenho geral de codificação. *CHILDREN* e *FISH AND LOGO* apresentam valores de *RPR* similares a uma mesma taxa de *bppo*, seguidos *WEATHER*, com desempenho maior, e finalmente por *AKYIO*, *LENA* e *PEPPER*, que são os objetos mais eficientemente codificados. Isso ocorre principalmente pela grande porcentagem de blocos cheios em relação ao total de blocos nos objetos com grande *AE*, reduzindo os efeitos indesejáveis das distorções de codificação nos blocos de contorno no desempenho final de codificação. No caso dos esquemas de DCT baseada em blocos, quanto maior o indicador *AE*, mais a taxa de *bpcq* (bits por coeficiente quantizado) a ser codificado aproxima-se da taxa *bppo*, o que aumenta o desempenho. As texturas também têm um papel fundamental na eficiência final de codificação. Comparando *AKYIO*, *LENA* e *PEPPER*, que possuem *AE* maiores que 90%, os objetos com texturas menores, como *AKYIO* e *PEPPER*, apresentam maiores ganhos de codificação. Isso é justificado pelo fato de que, nos objetos com textura baixa, a energia é concentrada em um menor número de coeficientes. Além da codificação tornar-se mais eficiente, a alocação de bits para o quantizador prioriza os coeficientes de maior amplitude, uma vez que a variância dos coeficientes de alta frequência é reduzida.

Como pode ser visto a partir das Figuras 4.17 a 4.22, a SA-DCT é a

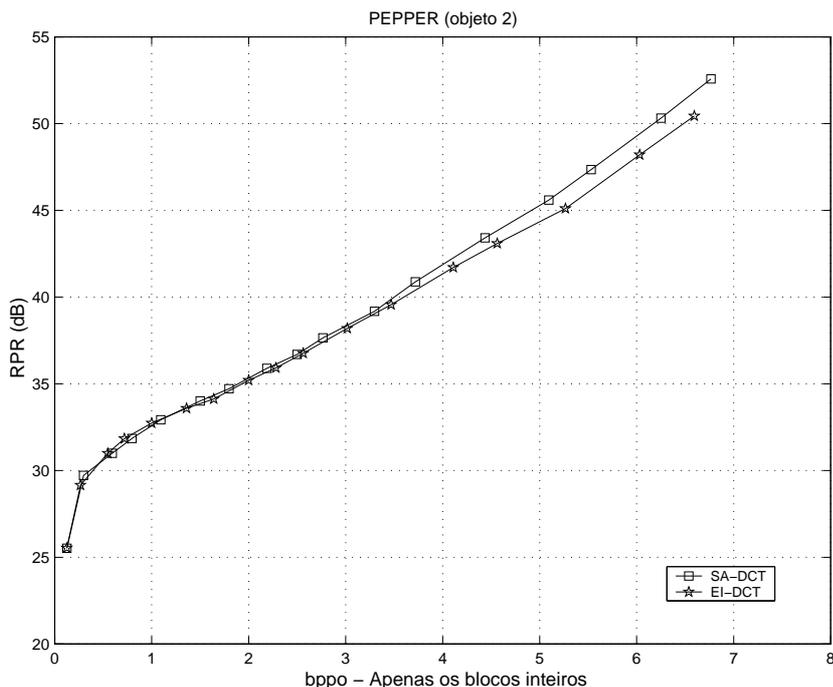


Figura 4.16: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre o quadro *PEPPER* (*objeto 2*) - Grupo G11

pior estratégia a taxas baixas. Contudo, à medida em que a taxa sobe, os objetos com baixo valor de *AE* tornam-se os mais apropriados à codificação com a SA-DCT, uma vez que o número de coeficientes a serem quantizados é significativamente menor do que nos esquemas de DCT baseada em blocos. Em *CHILDREN* e *FISH AND LOGO*, que apresentam baixos valores de *AE* (inferior a 70%), a técnica de SA-DCT torna-se muito mais eficiente do que o algoritmo EI-DCT a taxas a partir de aproximadamente 3 *bppo*. Em *WEATHER*, que apresenta *AE* em torno de 85%, também se observa uma superioridade da SA-DCT a partir de 4,5 *bppo*.

Já quando o objeto apresenta grande valor de *AE*, a comparação entre a SA-DCT e os esquemas de DCT baseada em blocos depende bastante das características de textura do objeto. Em *AKYIO*, *LENA* e *PEPPER*, o desempenho da SA-DCT a taxas mais altas tende a ser mais semelhante ao desempenho da EI-DCT, porque o número de coeficientes a quantizar é praticamente o mesmo em ambos os casos. Pequenas variações podem ocorrer devido principalmente às características de textura. Em *PEPPER*, a SA-DCT já se torna superior a partir de 1,5 *bppo*, uma vez que o objeto apresenta texturas extremamente baixas em todos os grupos. O objeto *LENA*, que possui alguns grupos com textura alta, é melhor codificado a taxas altas com a EI-DCT. Já em *AKYIO*, que apresenta texturas de médias a baixas, ambos os algoritmos apresentam-se equivalentes.

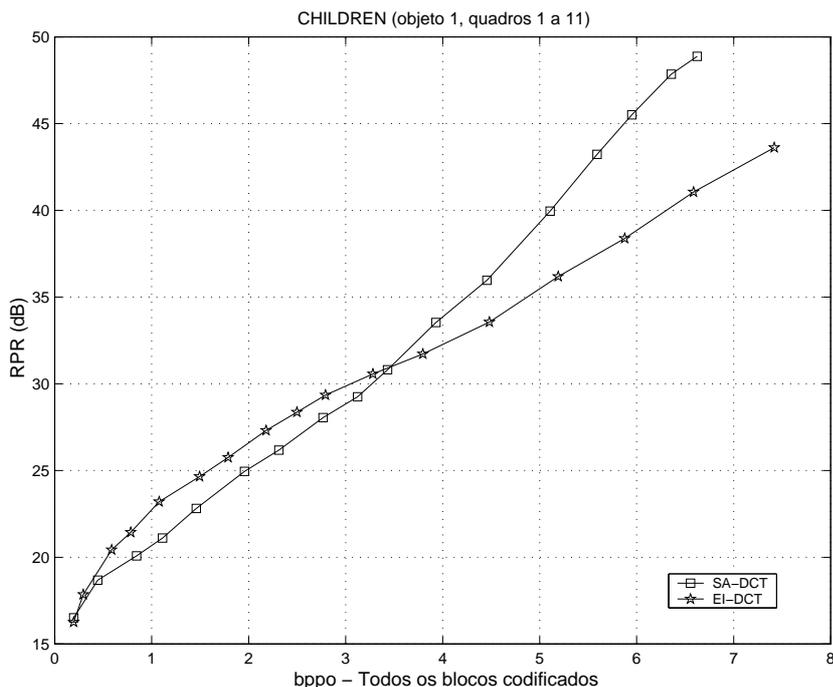


Figura 4.17: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *CHILDREN*

Os gráficos das Figuras 4.23 a 4.28 mostram os desempenhos de codificação médios para cada um dos grupos de blocos (G1 a G11) dos objetos *CHILDREN*, *LENA* e *PEPPER*, codificados com os algoritmos SA-DCT e EI-DCT. Analisando-se os pares das Figuras 4.23 e 4.24, Figuras 4.25 e 4.26 e Figuras 4.27 e 4.28, pode-se observar que as inclinações das curvas de desempenho dos grupos G1 a G5 são maiores para o algoritmo SA-DCT que para o algoritmo EI-DCT, uma vez que, para a mesma taxa de *bpp* média requerida, o segundo usa muito mais bits que o primeiro. Esse é um dos fatores responsáveis por tornar a estratégia SA-DCT mais eficiente à medida em que a taxa cresce. Nesse caso, a única exceção ocorreu para o grupo G5 de *LENA*, uma vez que G5 é o grupo de maior textura nesse objeto (ver indicador TNPO), o que aumenta a importância da suavização de textura proporcionada pela técnica EI-DCT (G5 ainda é um grupo de blocos razoavelmente vazios e a capacidade de suavização de textura da EI-DCT ainda é grande). Os grupos medianamente preenchidos (G6 e G8) normalmente são melhor codificados com a EI-DCT. Nos grupos mais cheios (G9 a G11), a capacidade de suavização de textura da EI-DCT é limitada e então a SA-DCT apresenta desempenho superior a taxas altas nos casos de baixíssima textura, como em *PEPPER*. Se as texturas são de médias a baixas como em *AKYIO*, as curvas de desempenho da SA-DCT e da EI-DCT são equivalentes para esses grupos. Se as texturas são altas,

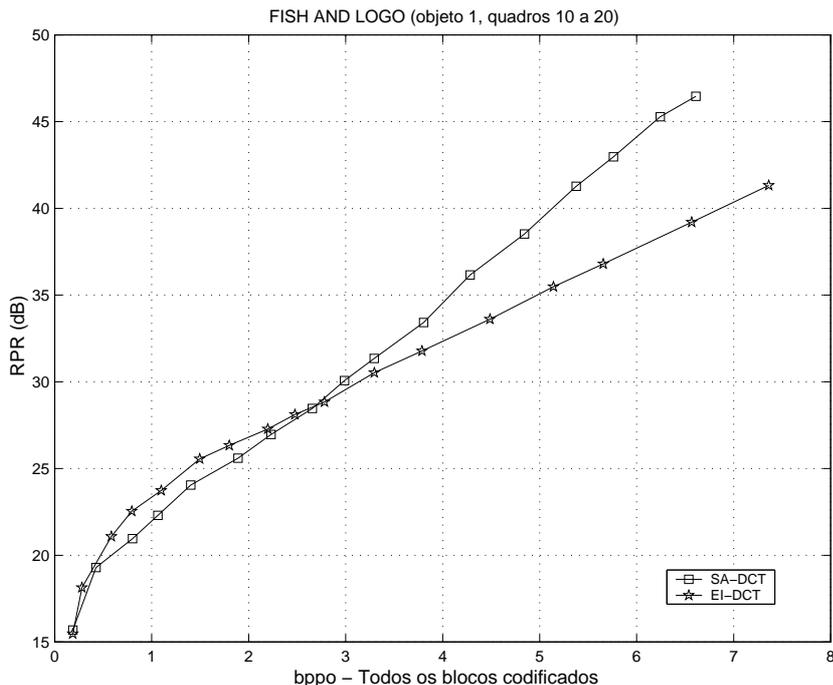


Figura 4.18: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *FISH AND LOGO*

como em *CHILDREN*, a curva de desempenho da EI-DCT fica acima da curva de desempenho da SA-DCT. Contudo, vale lembrar que no caso de *CHILDREN*, por se tratar de objeto com baixa *AE*, a SA-DCT irá alocar uma quantidade maior de bits que a EI-DCT para os blocos mais cheios, proporcionando uma eficiência de codificação a taxas altas superior para a SA-DCT. Esse fato também pode ser observado nas Figuras 4.23 e 4.24, onde se observa que as curvas de desempenho dos grupos de blocos mais cheios alcançam taxas de *bpp* maiores.

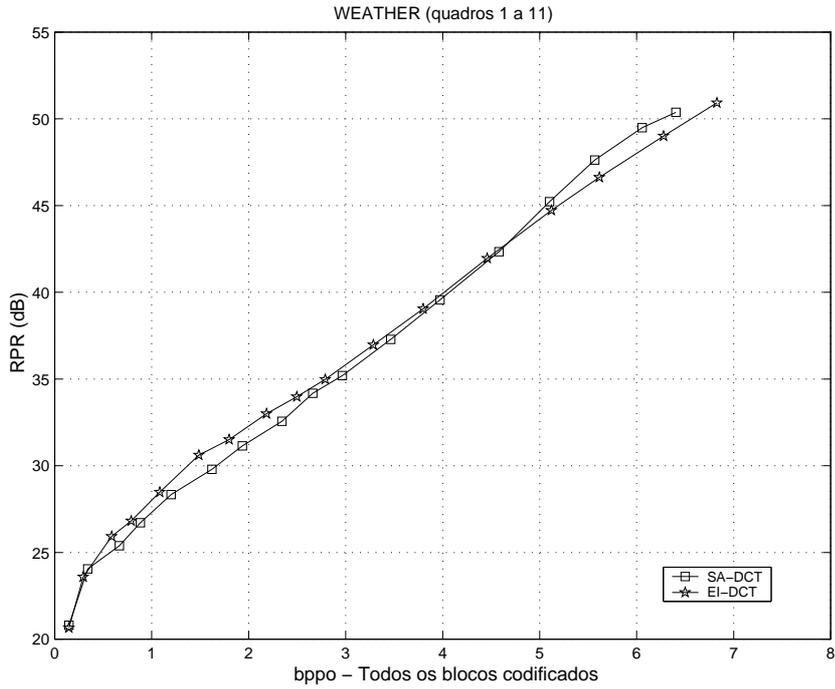


Figura 4.19: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre 11 quadros de um VOP da seqüência *WEATHER*

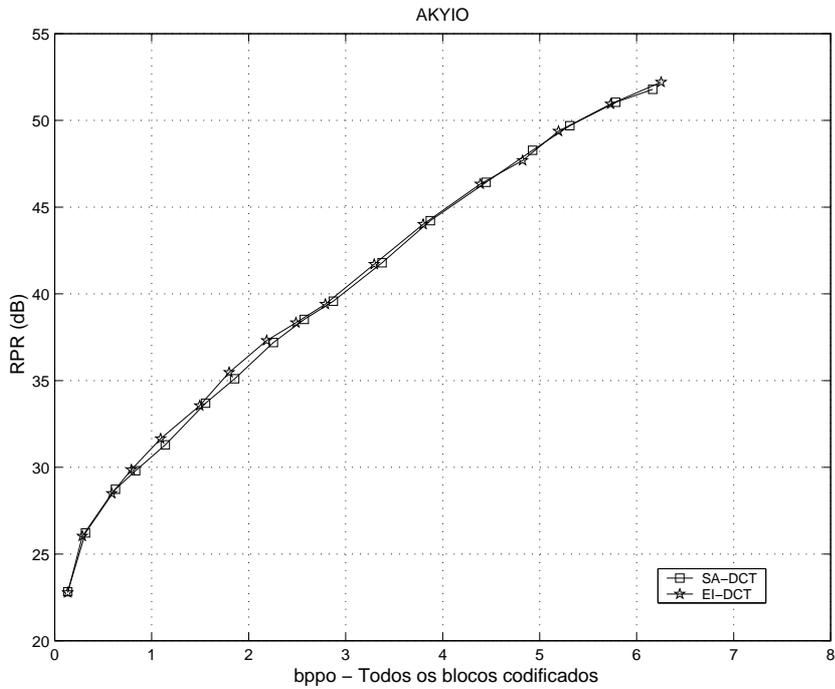


Figura 4.20: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre o quadro *AKYIO*.

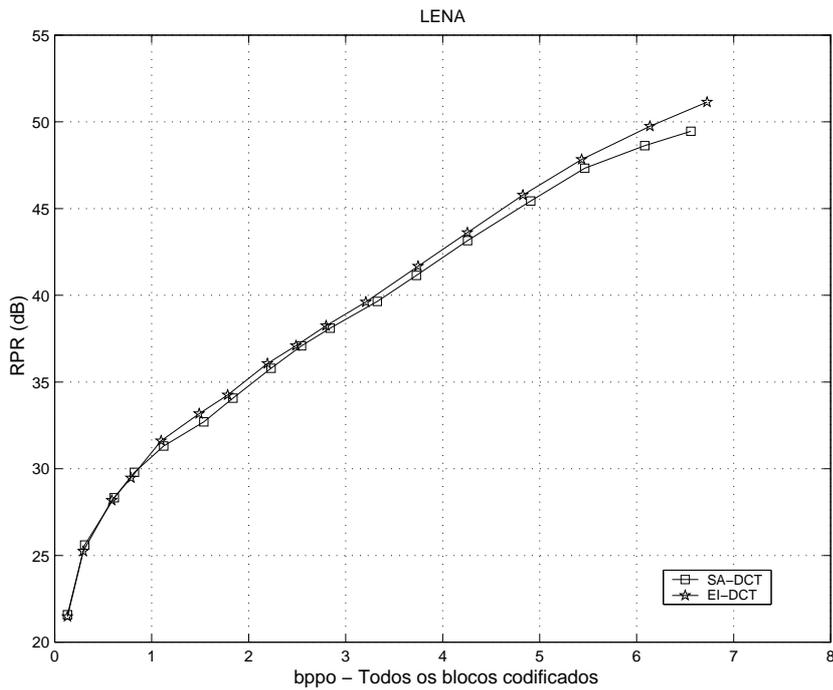


Figura 4.21: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre o quadro *LENA*.

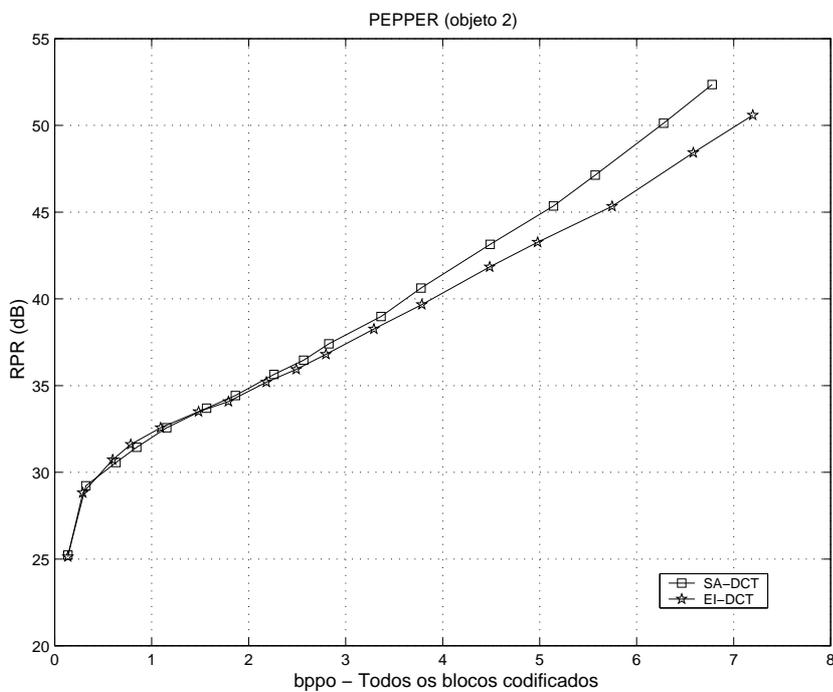


Figura 4.22: Desempenho dos algoritmos SA-DCT e EI-DCT implementados sobre 1 objeto do quadro *PEPPER*

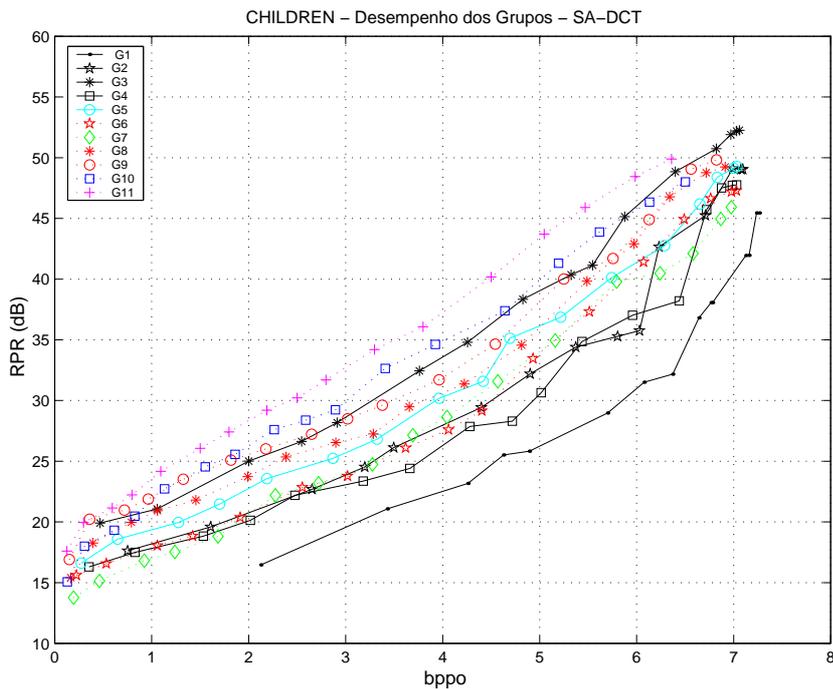


Figura 4.23: Desempenho dos vários grupos de blocos de *CHILDREN* codificados com a SA-DCT

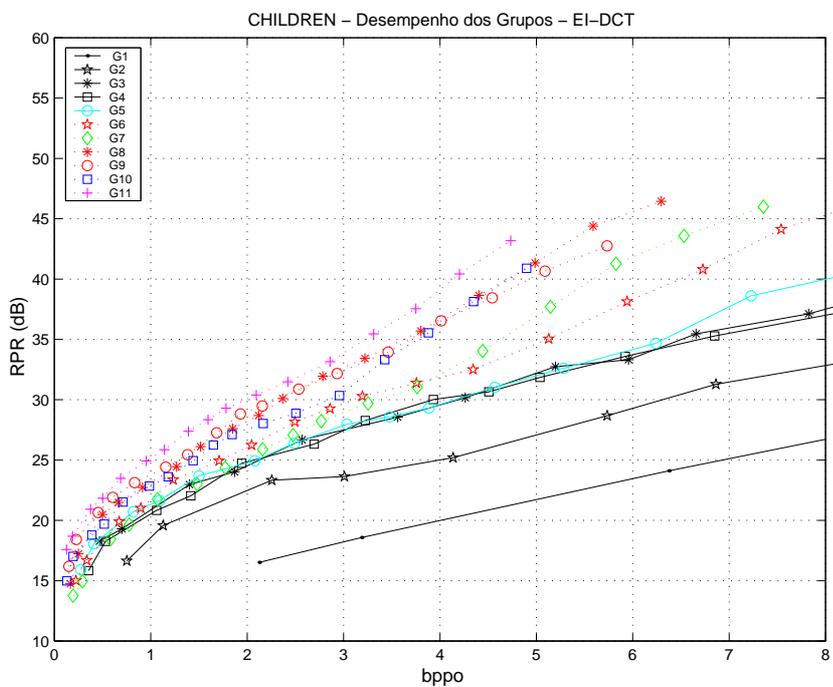


Figura 4.24: Desempenho dos vários grupos de blocos de *CHILDREN* codificados com a EI-DCT

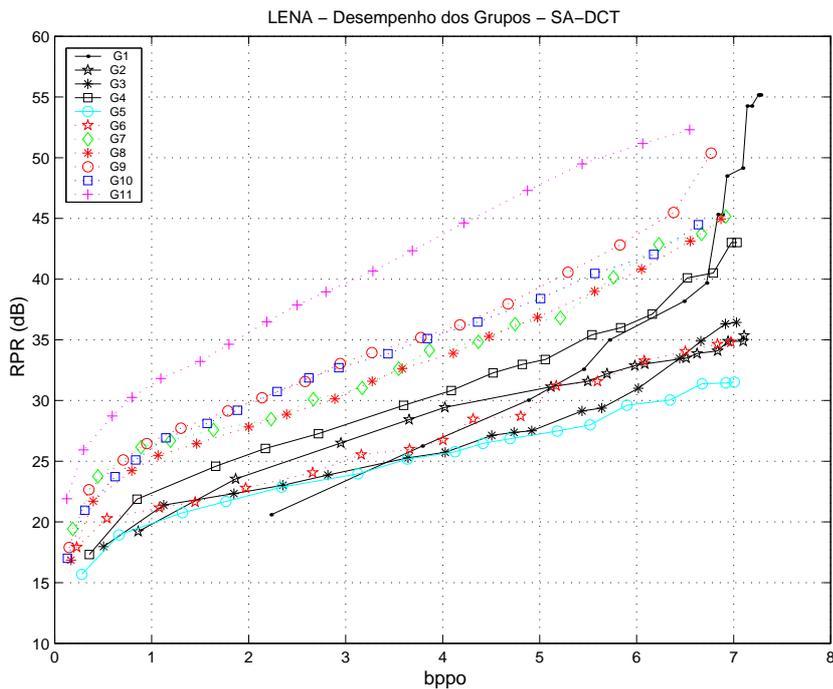


Figura 4.25: Desempenho dos vários grupos de blocos de *LENA* codificados com a SA-DCT

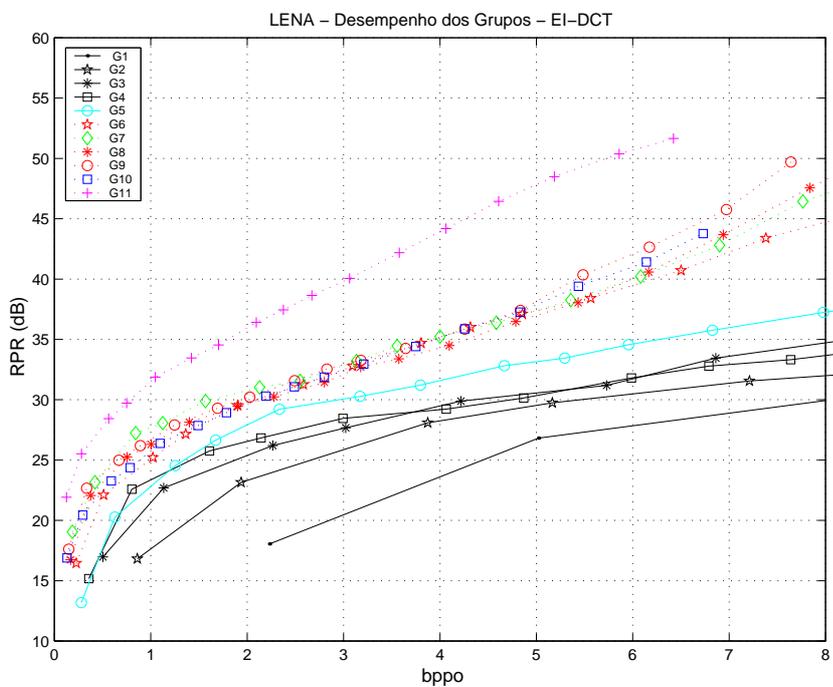


Figura 4.26: Desempenho dos vários grupos de blocos de *LENA* codificados com a EI-DCT

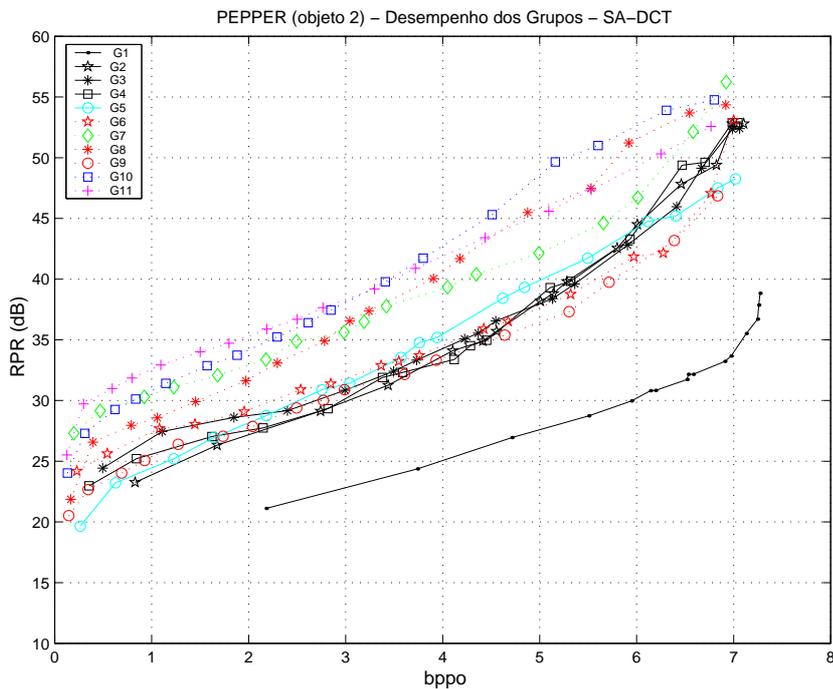


Figura 4.27: Desempenho dos vários grupos de blocos de *PEPPER* codificados com a SA-DCT

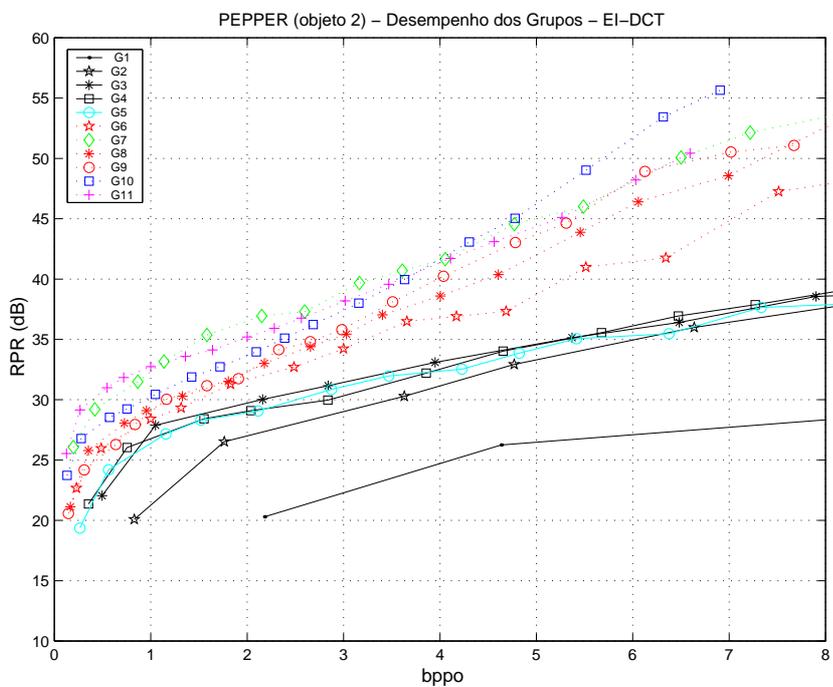


Figura 4.28: Desempenho dos vários grupos de blocos de *PEPPER* codificados com a EI-DCT

Uma síntese das conclusões desta seção é apresentada a seguir:

- Para uma comparação entre as abordagens SA-DCT e DCT baseada em blocos, é necessária a análise de desempenho de todos os blocos a codificar, inclusive os blocos cheios, uma vez que: (i) essas abordagens produzem conjuntos de coeficientes bastante diferenciados e (ii) para a SA-DCT, a taxa de  $bppo$  (bits por pixel do objeto) é sempre igual à taxa de  $bpcq$  (bits por coeficiente a quantizar), ao passo que na DCT baseada em blocos,  $bppo > bpcq$  nos blocos mais vazios e  $bppo < bpcq$  nos blocos mais cheios;
- As diferenças entre  $bppo$  e  $bpcq$ , na DCT baseada em blocos, são tão maiores quanto menor a Área Efetiva do objeto a ser codificado;
- Em objetos com alto valor de Área Efetiva, tem-se:
  - Textura alta: EI-DCT mais eficiente que a SA-DCT, sendo superada pela SA-DCT somente a taxas altas;
  - Textura baixa: SA-DCT mais eficiente que a EI-DCT, já a partir de taxas baixas.
- Em objetos com baixo valor de Área Efetiva, o número de coeficientes a quantizar com a SA-DCT é significativamente menor que com a EI-DCT, principalmente nos blocos mais vazios. Portanto, a SA-DCT torna-se mais eficiente já a partir de taxas baixas, independente das características de textura;
- Em objetos com baixo valor de Área Efetiva, podemos fazer as seguintes considerações sobre os grupos de blocos (G1 a G11):
  - Grupos mais vazios (G1 a G5): curvas de  $RPR \times bppo$  com inclinações mais acentuadas para a SA-DCT que para a EI-DCT (devido ao menor número de coeficientes a quantizar);
  - Grupos medianamente preenchidos (G6 a G8): normalmente melhor codificados com a EI-DCT (que apresenta razoável capacidade de suavização de textura, caso ela seja alta);
  - Grupos quase ou totalmente cheios (G9 a G11): EI-DCT é melhor para casos de alta textura e a SA-DCT, para casos de baixa textura (a capacidade de suavização de textura da EI-DCT já não é mais tão significativa);
  - Grupos mais cheios alcançam taxas de  $bppo$  maiores com a SA-DCT.

## 4.5 Conclusões

Neste capítulo foi ressaltada a conveniência de que a análise de desempenho dos diversos algoritmos seja feita levando-se em consideração todos os blocos codificados, ao invés de apenas os blocos de contorno, mostrando que a alocação de bits nos blocos cheios podem ser sensivelmente diferentes para uma ou outra estratégia.

Foram propostos Indicadores Morfológicos que pudessem descrever características de forma e de textura dos objetos: a Área Efetiva - AE -, a Textura de acordo com o Número de Pixels do Objeto - TNPO - e a Distribuição de blocos de acordo com o Número de Pixels do Objeto - DNPO. Foi mostrado como os dois primeiros indicadores podem ser utilizados para analisar comparativamente os desempenhos das duas abordagens possíveis na codificação orientada por objeto: a DCT baseada em blocos e a SA-DCT. Também com o auxílio desses indicadores, foi analisado por que o algoritmo EI-DCT é o melhor dentre as estratégias de DCT baseada em blocos. O indicador DNPO não foi utilizado para a análise de desempenho dos codificadores, tendo apenas contribuído para a proposição inicial do indicador TNPO. Contudo, foi mantido no texto porque a sua aplicação em análises futuras pode ser útil, como será visto no Capítulo 7.

Observou-se que o algoritmo EI-DCT é o mais eficiente a taxas baixas, mas que à medida em que a taxa sobe, o desempenho da SA-DCT tende a superar bastante o da EI-DCT no caso de objetos que apresentem uma alta proporção de blocos de contorno em relação aos blocos cheios, caracterizando baixa Área Efetiva. Constatou-se também que na codificação de objetos com alto valor de Área Efetiva, como *LENA*, o desempenho da estratégia EI-DCT normalmente supera o desempenho da SA-DCT para todas as taxas quando as texturas médias são grandes, mas que a SA-DCT continua sendo superior nos casos de texturas médias suaves.

O indicador TNPO, que fornece a distribuição das texturas médias nos blocos de acordo com o número de pixels do objeto, tem um papel importante na avaliação de desempenho das diversas estratégias. Embora nas análises apresentadas neste capítulo todos os grupos de blocos sejam codificados usando-se uma mesma estratégia, o indicador TNPO poderá indicar a maior adequação de uma ou outra estratégia para blocos de um determinado grupo, dependendo do número médio de pixels do objeto nesses blocos e da textura média dos blocos no grupo.