

7

Chaveamento entre os Algoritmos Híbridos da SA-DCT e da EI-DCT para Codificação Adaptativa de Objetos de Forma Arbitrária

7.1

Introdução

A codificação de objetos de forma arbitrária, explorando a noção de entidades visuais através da codificação, decodificação e manipulação de objetos independentes, tem permitido um avanço considerável na compressão a baixas taxas, além de prover outras características desejáveis, como escalabilidade e interatividade [16]-[17].

Nos capítulos anteriores desta tese, observou-se uma forte dependência entre o desempenho desses codificadores e os indicadores morfológicos [95] propostos no Capítulo 4, que fornecem informações sobre a forma e a textura da região segmentada. Como foi visto nos Capítulos 5 e 6, esses indicadores podem ser utilizados de forma eficiente na elaboração de esquemas híbridos para codificação por transformada orientada por objeto [96]. Tais esquemas são capazes de proporcionar maiores ganhos de codificação que os métodos comumente difundidos na literatura, como a DCT baseada em blocos [76],[77], [78]-[83] e a SA-DCT [67]-[77].

Com o propósito de melhorar ainda mais o desempenho da estrutura de codificação, será proposto neste capítulo um codificador de imagens orientado por objeto que é adaptativo à taxa de bits, à textura e à forma do objeto a ser codificado. Utilizando como estratégias de codificação básicas os esquemas híbridos apresentados nos Capítulos 5 e 6 – EI-DCT-Híbrido e SA-DCT-Híbrido –, respectivamente, este codificador opta por uma ou outra estratégia, dependendo da taxa de bits média requerida e da textura do objeto a ser codificado.

A Seção 7.2 apresenta o codificador proposto, que será denominado simplesmente *codificador adaptativo*. Os resultados de simulação são fornecidos e discutidos na Seção 7.3. Finalmente, a Seção 7.4 apresenta as

conclusões mais relevantes do capítulo.

7.2

O Codificador Adaptativo Proposto

7.2.1

Estrutura do Codificador, Alocação de Bits e Particionamento em Blocos

O codificador adaptativo proposto chaveia entre duas estratégias básicas possíveis: o esquema híbrido da EI-DCT, apresentado no Capítulo 5, e o esquema híbrido da SA-DCT, descrito no Capítulo 6. Esse chaveamento, que é função da taxa de bits requerida e do indicador morfológico TNPO, é apresentado na Tabela 7.1. As motivações e justificativas para essa proposta serão expostas na sub-Seção 7.2.2.

Com relação à alocação de bits a uma determinada taxa para o codificador adaptativo, adotou-se o seguinte procedimento: todos os blocos a serem codificados em um objeto específico foram utilizados para o cálculo das estatísticas dos coeficientes, para cada uma das duas estratégias básicas. Desse modo, o esquema híbrido, ao optar por uma das estratégias, utiliza a alocação de bits específica para aquela estratégia. Isso significa que deverão ser transmitidos 128 valores de média e 128 valores de variância como informação paralela. A sobre-taxa em relação aos esquemas básicos (SA-DCT-HÍBRIDO e EI-DCT-HÍBRIDO) é de 128 valores a serem transmitidos (64 de média e 64 de variância). Considerando que sejam utilizados 5 bits para a quantização de cada um dos valores de média e variância dos coeficientes, serão necessários 640 bits de informação paralela adicional. Essa sobre-taxa foi incluída na implementação do esquema adaptativo, cujos resultados serão mostrados e discutidos na Seção 7.3. Também foi incorporada na implementação do esquema proposto a sobre-taxa necessária para a escolha entre as estratégias SA-DCT-HÍBRIDO e EI-DCT-HÍBRIDO: 1 bit para cada um dos grupos de G_6 a G_{11} , totalizando outros 6 bits. A sobre-taxa total necessária à implementação do esquema adaptativo em relação aos esquemas híbridos apresentados nos Capítulos 5 e 6 (646 bits) é mostrada na Tabela 7.2, para as taxas de 0,2, 0,5 e 1 bppo. Note-se que em geral, à exceção da taxa 0,2 bppo, essa sobre-taxa é pequena para a maioria das imagens.

O codificador adaptativo foi implementado usando-se apenas a partição em blocos convencional. Essa opção justifica-se porque os esque-

Tabela 7.1: Chaveamento entre a EI-DCT e a SA-DCT no Codificador Adaptativo Proposto

$g = G1$ e $G2$
SA-DCT-HÍBRIDO
$g = G3$ a $G5$
se $taxa < 2$ bppo, EI-DCT-HÍBRIDO
se $taxa \geq 2$ bppo, SA-DCT-HÍBRIDO
$g = G6$ e $G7$
se $TNPO(g) \geq 31$
se $taxa < 4$ bppo, EI-DCT-HÍBRIDO
se $taxa \geq 4$ bppo, SA-DCT-HÍBRIDO
se $TNPO(g) < 31$
se $taxa < 6$ bppo, EI-DCT-HÍBRIDO
se $taxa \geq 6$ bppo, SA-DCT-HÍBRIDO
$g = G8$ e $G9$
se $TNPO(g) \geq 31$
se $taxa < 4$ bppo, EI-DCT-HÍBRIDO
se $taxa \geq 4$ bppo, SA-DCT-HÍBRIDO
se $TNPO(g) < 31$, EI-DCT-HÍBRIDO
$g = G10$
se $TNPO(g) \geq 35$
se $taxa < 4$ bppo, EI-DCT-HÍBRIDO
se $taxa \geq 4$ bppo, SA-DCT-HÍBRIDO
se $TNPO(g) < 35$, SA-DCT-HÍBRIDO
$g = G11$ (blocos cheios)
DCT-2D
se $\sum_{q=1}^{11} TNPO(g)/11 \geq 16$, alocação de bits do EI-DCT-HÍBRIDO
se $\sum_{q=1}^{11} TNPO(g)/11 < 16$, alocação de bits do SA-DCT-HÍBRIDO

mas de particionamento [76],[94] apresentados no Capítulo 3 somente se mostraram eficientes quando associados à EI-DCT, e mesmo assim, a taxas de médias a altas (conforme resultados mostrados nos Capítulos 5). Quando associados à SA-DCT, não há nenhuma garantia de que a eficiência final de codificação seja aumentada, podendo inclusive ser reduzida, como foi mostrado na Seção 6.4. A taxas baixas, o codificador adaptativo normalmente utiliza a EI-DCT para a codificação dos blocos de contorno, à exceção dos grupos $G1$ e $G2$. A utilização dos esquemas de particionamento alternativos poderia ser vantajosa a essas taxas, caso isso implicasse em uma melhoria do desempenho de codificação significativa da EI-DCT. Contudo, essa melhoria só é percebida a taxas mais altas. Quando se empregam altas taxas de bits, o codificador adaptativo utiliza a SA-DCT para a codificação de todos os blocos de contorno e, como foi verificado na Seção 6.4, a utilização dos

Tabela 7.2: Sobre-taxa necessária à implementação do esquema adaptativo, em comparação aos esquemas híbridos propostos nos Capítulos 5 e 6

OBJETOS	<i>bppo</i>	0,2	0,5	1
<i>CHILDREN</i>		13,93%	6,08%	3,14%
<i>FISH AND LOGO</i>	Aumento percentual no número de bits	8,61%	3,63%	1,85%
<i>WEATHER</i>		4,04%	1,65%	0,83%
<i>AKYIO</i>		7,85%	3,30%	1,68%
<i>LENA</i>		2,47%	1,00%	0,50%
<i>PEPPER</i>		6,29%	2,62%	1,33%

algoritmos de particionamento alternativos não é indicada. A taxas médias, o codificador adaptativo escolhe uma das duas estratégias para um grupo de blocos específico, dependendo dos indicadores morfológicos. Dada a necessidade da escolha de um particionamento único a uma dada taxa, optou-se pela partição convencional. Isso justifica-se pelo fato de que não existe garantia de ganho de desempenho com os algoritmos de partição alternativos, que ainda aumentariam a carga computacional tanto do codificador, quanto do decodificador.

7.2.2 Motivações e Justificativas para o Esquema Proposto

A seguir, serão examinados alguns aspectos sobre o desempenho dos esquemas básicos de codificação EI-DCT-HÍBRIDO e SA-DCT-HÍBRIDO em cada um dos grupos de blocos, que subsidiaram a concepção do esquema de chaveamento proposto para o codificador adaptativo. A Figura 7.1 novamente traz o indicador TNPO para os objetos estudados, devido à sua importância para o estudo a ser apresentado. O desenvolvimento da análise das Figuras 7.2 a 7.15, que comparam os desempenhos das estratégias híbridas para a EI-DCT e para a SA-DCT em vários grupos de blocos, é semelhante àquela realizada na Seção 4.2.2, que analisou os algoritmos SA-DCT e EI-DCT segundo os indicadores morfológicos. É necessário esclarecer que os pontos das curvas referentes ao codificador adaptativo nas Figuras 7.2 a 7.15 não são os ganhos reais desse codificador (uma vez que a sobre-taxa ainda não fora incluída), apontando apenas a estratégia de codificação mais apropriada a ser selecionada pelo codificador proposto.

Para a compreensão da análise que se segue, é necessário comentar que a EI-DCT apresenta uma capacidade de suavização de textura nos blocos de contorno extrapolados. Isso é verdade na medida em que, inserindo zeros no domínio da transformada, a consequência no domínio espacial é que a energia presente nos pixels pertencentes ao objeto é distribuída

por todos os 64 pixels do bloco extrapolado. Quanto mais vazios forem os blocos de contorno, maior será a capacidade de suavização da textura da EI-DCT. Vale lembrar que essa suavização de textura provoca, inclusive, uma alteração dos valores de luminância dos pixels do objeto originais e que, por esse motivo, o decodificador precisa realizar o processo de extrapolação inverso após a IDCT-2D (vide Figura 2.3). Devido a essa suavização de textura, os coeficientes de alta frequência tendem a apresentar pequena variância, privilegiando a alocação de bits para os coeficientes de mais baixa ordem (vide Equação 2.3).

Nos grupos de blocos $G1$ e $G2$, as inclinações das curvas de desempenho da SA-DCT são muito superiores às inclinações das curvas referentes à EI-DCT e, em geral, não ocorre interseção entre elas. Isso pode ser visto nas Figuras 7.2 e 7.3, que apresentam os desempenhos de codificação para o grupo $G1$ de *AKYIO* (baixa textura) e *CHILDREN* (alta textura). Em $G2$, notam-se comportamentos idênticos àqueles apresentados pelo grupo $G1$. Por esse motivo, para qualquer taxa de bits, a SA-DCT apresenta-se mais eficiente que a EI-DCT nos grupos $G1$ e $G2$.

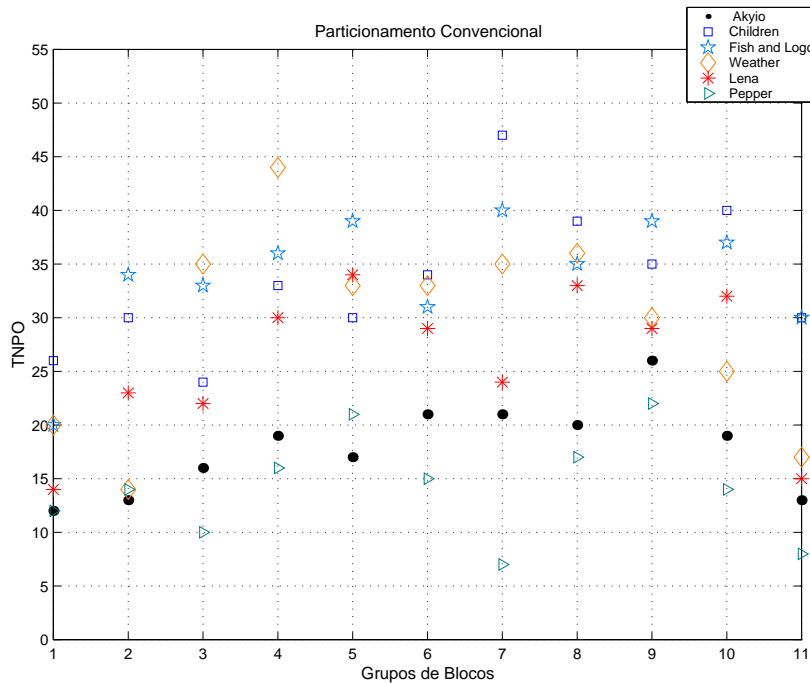


Figura 7.1: Textura de acordo com o Número de Pixels do Objeto - TNPO (é mostrado o indicador para todos os grupos)

Nos grupos $G3$ a $G5$, a EI-DCT é mais eficiente a baixíssimas taxas de bits em virtude de sua alta capacidade de suavização de textura. Entretanto, já a partir de taxas muito baixas (aproximadamente 2 bpp), as curvas relacionadas à SA-DCT continuam muito mais inclinadas verticalmente

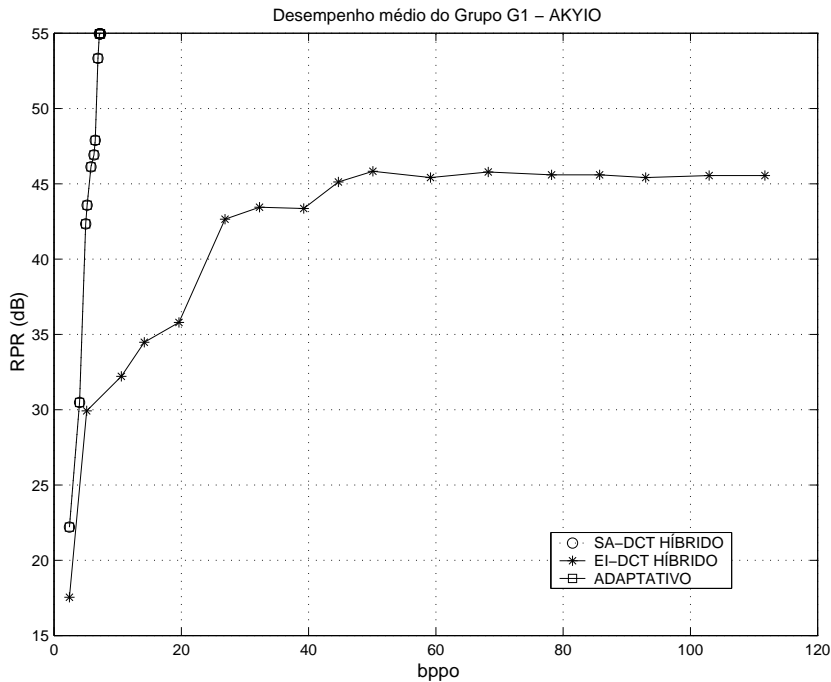


Figura 7.2: Desempenho de codificação do grupo G1 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *AKYIO*

que aquelas relacionadas à EI-DCT (porque o número de pixels a codificar é muito menor no primeiro caso), indicando o uso da primeira estratégia como a mais apropriada. As Figuras 7.4 e 7.5 ilustram os desempenhos de codificação dos três esquemas sobre os blocos do grupo *G4* de *PEPPER* (objeto 2) e *FISH AND LOGO* (objeto 1, quadros 10 a 20), de baixa e alta textura, respectivamente. Comportamentos equivalentes acontecem para os grupos *G3* e *G5*.

À medida em que os blocos tornam-se mais cheios, a quantidade de pixels a serem codificados tende a se tornar cada vez mais semelhante para ambas as estratégias e as eficiências de codificação da EI-DCT e da SA-DCT passam a apresentar uma forte dependência da textura média dos blocos nesses grupos. Nesses casos, será necessário analisar até que ponto a capacidade de suavização de textura da estratégia EI-DCT e a conseqüente concentração da energia nos coeficientes de baixa frequência (o que a torna adequada à utilização a baixas taxas), será mais vantajosa que a característica de necessitar codificar um número de pixels menor, apresentada pela estratégia SA-DCT.

Nos grupos de blocos medianamente preenchidos, *G6* e *G7*, a capacidade da EI-DCT em suavizar a textura ainda é grande, mas na SA-DCT o número de pixels a codificar é significativamente menor que 64 (que é o

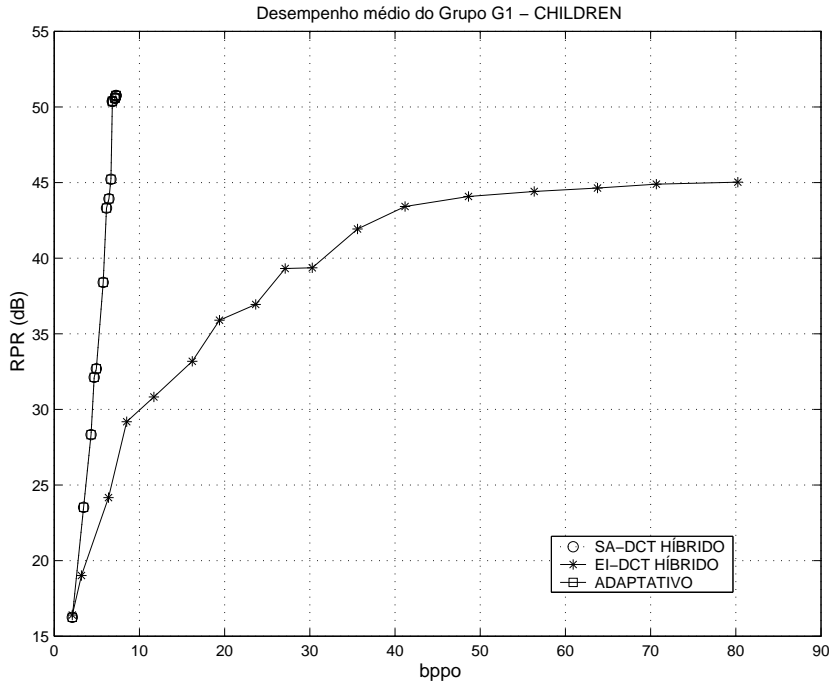


Figura 7.3: Desempenho de codificação do grupo G1 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *CHILDREN* (objeto 1)

caso da EI-DCT). Portanto, a primeira será indicada à utilização em taxas baixas e a segunda, a taxas altas. O ponto ótimo de chaveamento da estratégia EI-DCT para a estratégia SA-DCT depende do valor do indicador TNPO no grupo. Para objetos com baixo ou médio valor de textura nesses grupos, a utilização da SA-DCT só é indicada para taxas a partir de 6 bpp (a EI-DCT é bastante eficiente em praticamente todas as taxas). Contudo, nos objetos que apresentam um alto valor desse indicador (acima de 30) nesses grupos, a suavização de textura proporcionada pela EI-DCT é menos significativa. Nesse caso, *G6* e *G7* já são mais eficientemente codificados com a SA-DCT a taxas a partir de 4 bpp, aproximadamente (a taxas altas, é preferível ter menos pixels a codificar em blocos de contorno com textura alta do que codificar blocos cheios com textura pouco suavizada). As Figuras 7.6 e 7.7 mostram os desempenhos de codificação médio dos blocos do grupo *G6* de *AKYIO* e *CHILDREN*, que são objetos que apresentam baixa e alta textura nesse grupo, respectivamente. Note-se que no objeto *AKYIO* a SA-DCT somente supera a EI-DCT a aproximadamente 6 bpp. Ao contrário, nos grupos de blocos pertencentes ao grupo *G6* de *CHILDREN*, a SA-DCT já supera a EI-DCT à taxa de 4 bpp. Comportamento semelhante é verificado no grupo *G7*.

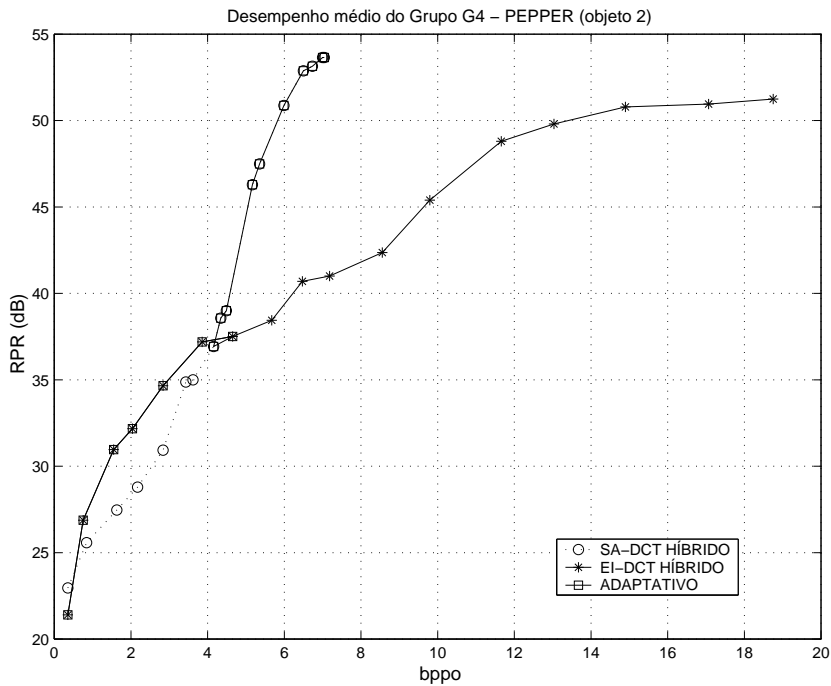


Figura 7.4: Desempenho de codificação do grupo G4 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *PEPPER* (objeto 2)

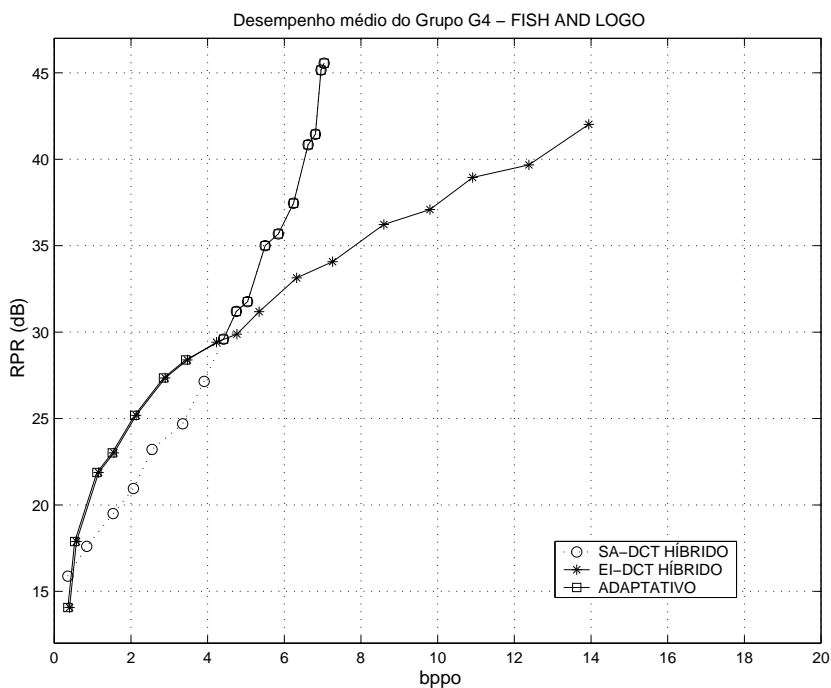


Figura 7.5: Desempenho de codificação do grupo G4 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *FISH AND LOGO* (objeto 1, quadros 10 a 20)

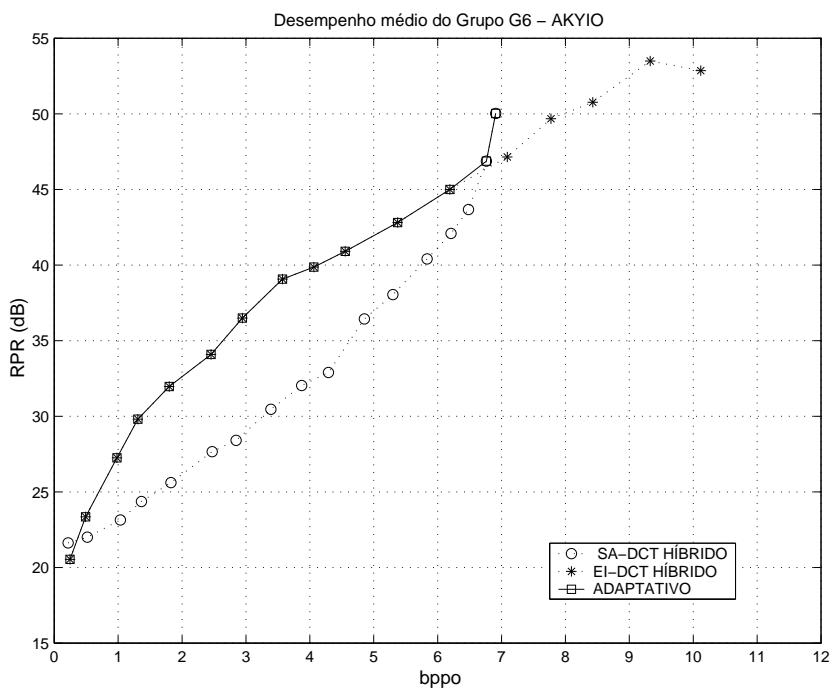


Figura 7.6: Desempenho de codificação do grupo G6 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *AKYIO*.

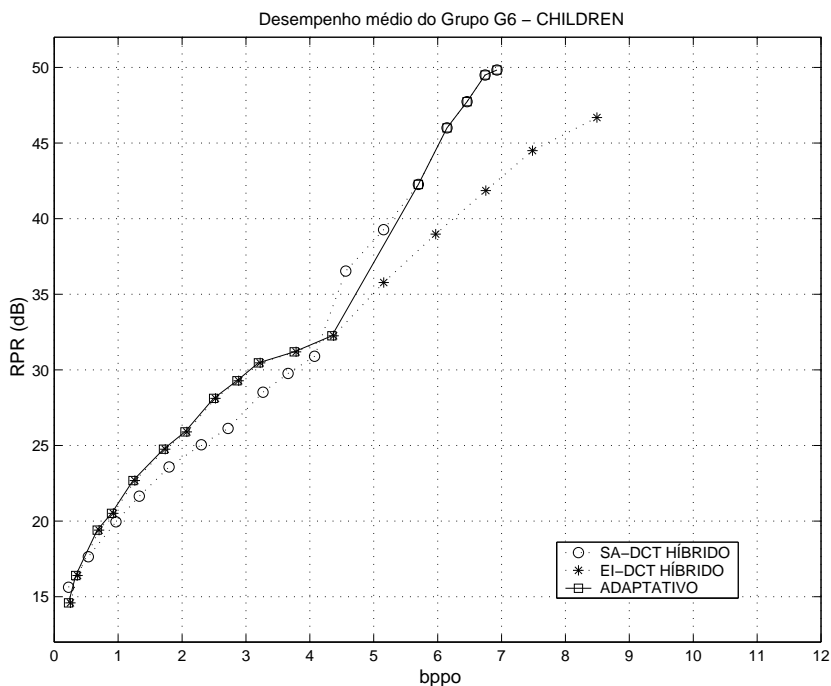


Figura 7.7: Desempenho de codificação do grupo G6 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *CHILDREN* (objeto 1, quadros 1 a 11)

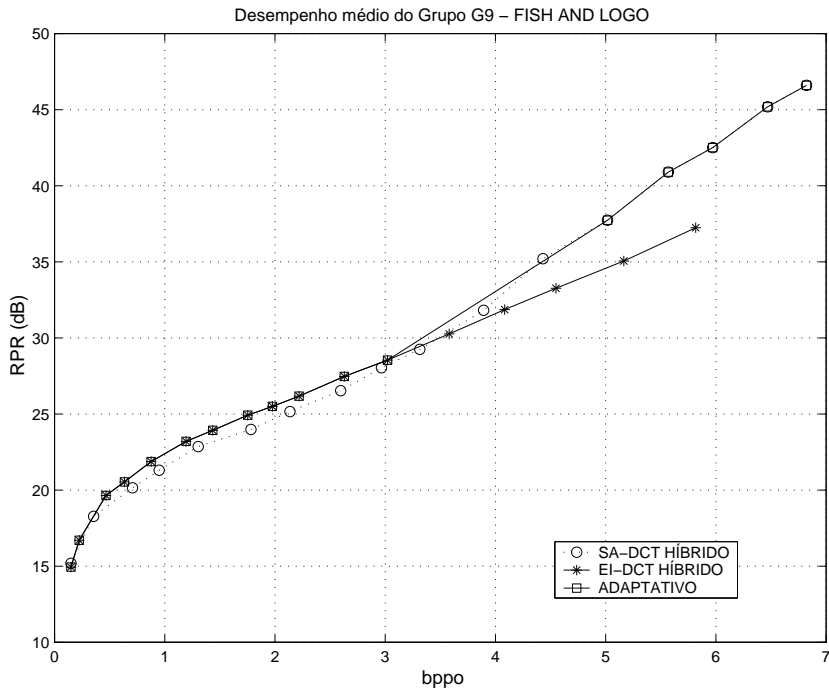


Figura 7.8: Desempenho de codificação do grupo G8 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *FISH AND LOGO* (objeto 1, quadros 10 a 20)

Nos grupos *G8* e *G9*, que ainda não estão exhaustivamente cheios, ainda há algum espaço para que a EI-DCT produza uma suavização de textura razoável, caso o valor do parâmetro *TNPO* não seja muito grande. De fato, observa-se que nos casos de textura média a baixa, a EI-DCT normalmente é preferível à SA-DCT para todas as taxas. Já nos casos de textura muito alta, a suavização de textura produzida pela EI-DCT não é suficiente o bastante para mantê-la mais eficiente que a SA-DCT também a taxas altas, porque o número médio de coeficientes a quantizar na SA-DCT é um pouco menor que na EI-DCT. Para ilustrar essas observações, as Figuras 7.8 e 7.9 apresentam, respectivamente, os desempenhos de codificação médios no grupo *G9* de *FISH AND LOGO* (alta textura) e de *AKYIO* (baixa textura). No primeiro caso, como o indicador $TNPO(G9) \geq 31$, ocorreu um chaveamento entre a EI-DCT e a SA-DCT, mas no segundo, como $TNPO(G9) < 31$, a estratégia EI-DCT foi a mais apropriada para todas as taxas (vide Tabela 7.1).

Em *G10*, os blocos estão praticamente cheios e, portanto, a capacidade da EI-DCT em prover alguma suavização de textura é bastante limitada. Para grupos com textura média a baixa, a SA-DCT e a EI-DCT apresentarão, em geral, resultados semelhantes, porque a suavização de textura será praticamente insignificante. Portanto, a estratégia SA-DCT tenderá a

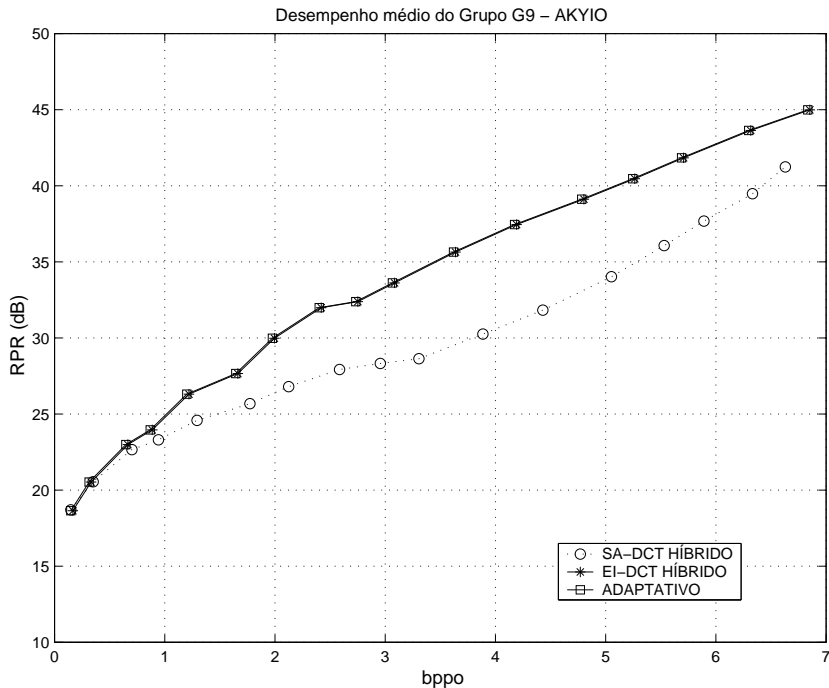


Figura 7.9: Desempenho de codificação do grupo G9 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *AKYIO*

codificar os blocos de forma um pouco mais eficiente, uma vez que precisa codificar um número ligeiramente menor de coeficientes. Já para texturas altas, a pequena suavização proporcionada pelo algoritmo EI-DCT será relevante apenas a taxas baixas, onde uma compactação de energia um pouco mais eficiente nos coeficientes da transformada fará diferença no desempenho final de codificação. Assim, para os blocos em *G10* com alta textura, a tendência é que a EI-DCT seja mais eficiente que a SA-DCT a baixas taxas. Já para blocos em *G10* com baixa ou média textura, a SA-DCT deve ser usada a qualquer taxa de bits. As Figuras 7.10 a 7.12 ilustram essas observações para blocos do grupo *G10* em situações de baixa textura (*AKYIO* e *WEATHER*) e alta textura (*FISH AND LOGO*), respectivamente.

Em *G11*, que agrupa todos os blocos cheios, aplica-se a DCT-2D diretamente. O problema consiste em optar pela melhor matriz de alocação de bits dentre aquelas geradas pela EI-DCT e pela SA-DCT, já que as estatísticas dos coeficientes finais produzidos por ambas as estratégias são transmitidos como informação paralela. Note-se que o cálculo das estatísticas dos coeficientes da SA-DCT consideram apenas os coeficientes gerados pela codificação dos pixels do objeto, ao passo que, para o cômputo das estatísticas dos coeficientes da EI-DCT, todos os 64 coeficientes de cada bloco a codificar são considerados. Portanto, o efeito do processo de

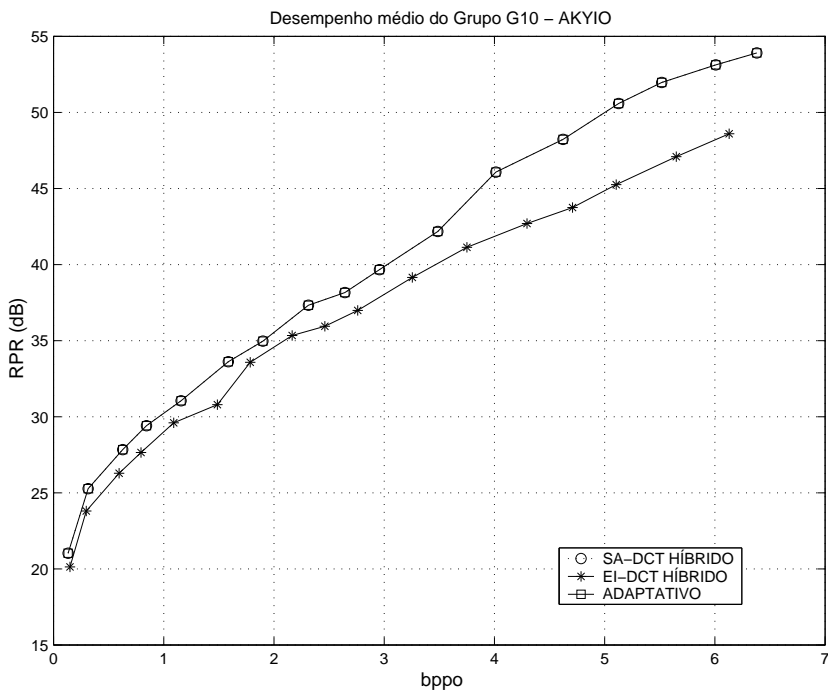


Figura 7.10: Desempenho de codificação do grupo G10 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *AKYIO*.

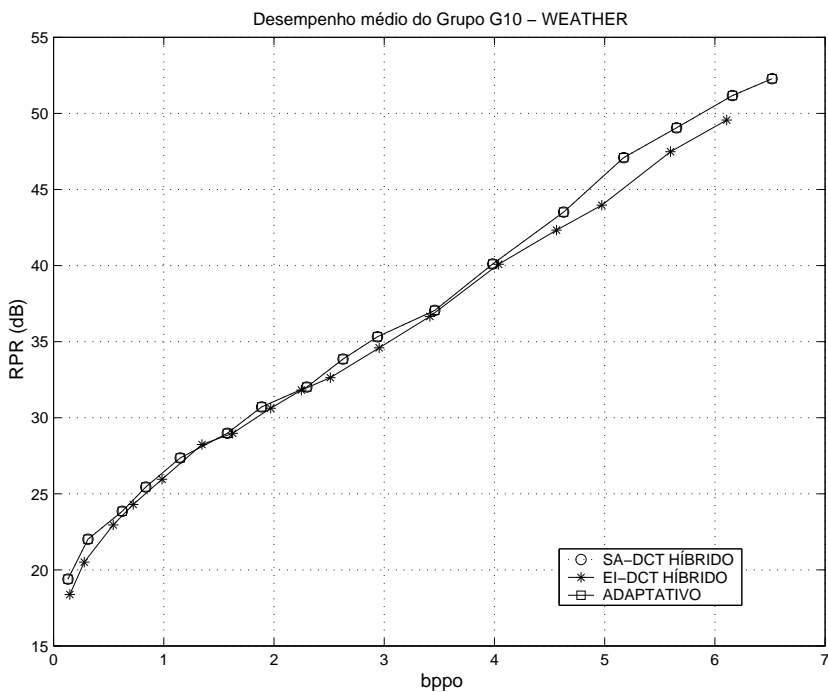


Figura 7.11: Desempenho de codificação do grupo G10 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *WEATHER* (quadros 1 a 11)

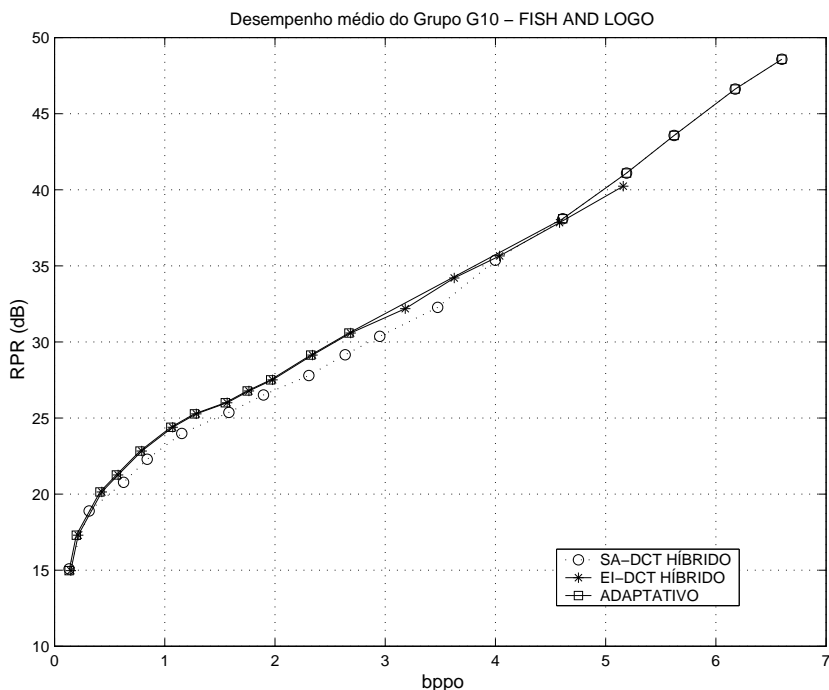


Figura 7.12: Desempenho de codificação do grupo G10 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *FISH AND LOGO* (objeto 1, quadros 10 a 20)

extrapolação na EI-DCT, que suaviza as texturas dos blocos de contorno, será o de concentrar a energia nos coeficientes de baixa frequência, reduzindo as variâncias dos coeficientes de alta ordem e produzindo alocações de bits que priorizam os coeficientes de baixa frequência, principalmente a baixas taxas. À medida em que se permitem taxas mais elevadas, mais bits vão sendo alocados, progressivamente, para os coeficientes de mais alta ordem. Já no caso da SA-DCT, a alocação de bits será mais fidedigna às estatísticas reais do objeto, uma vez que somente os pixels do objeto são codificados. Quando o valor médio da textura (considerando todos os grupos de blocos a codificar) assume valor de médio para alto, opta-se pela matriz de alocação de bits gerada pela estratégia EI-DCT, que tende a priorizar a informação contida nos coeficientes de baixa ordem. Contudo, se o objeto apresenta um valor médio de textura muito baixo (como *PEPPER*), a variância dos coeficientes de alta ordem já será, naturalmente, baixa, priorizando a alocação de bits para os coeficientes de menor ordem. Nessa situação, será mais adequado utilizar a alocação de bits da SA-DCT, que é mais fidedigna às características do objeto em si. As Figuras 7.13 e 7.14, mostram, respectivamente, casos em que a textura média dos grupos de blocos é muito baixa (*PEPPER*) e muito alta (*CHILDREN*). Nesses casos,

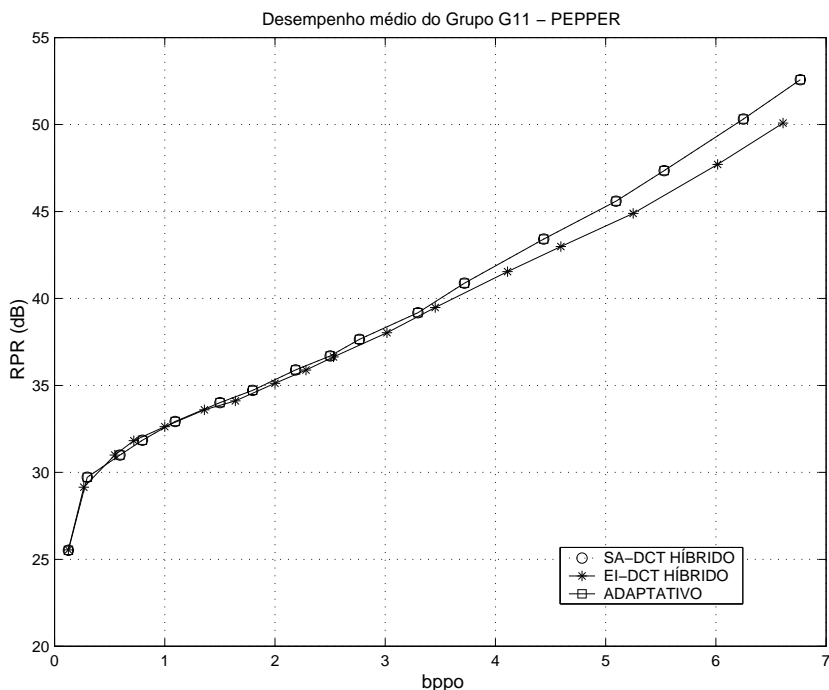


Figura 7.13: Desempenho de codificação do grupo G11 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *PEPPER* (objeto 2)

as alocações de bits escolhidas deverão ser, respectivamente, aquelas geradas pela SA-DCT e pela EI-DCT. No objeto *AKYIO*, cujo valor médio de textura apresenta um valor mediano, as alocações de bits da EI-DCT e da SA-DCT proporcionaram níveis de desempenho de codificação equivalentes para os blocos cheios, com uma pequena superioridade para o caso da EI-DCT. Esse caso está ilustrado na Figura 7.15.

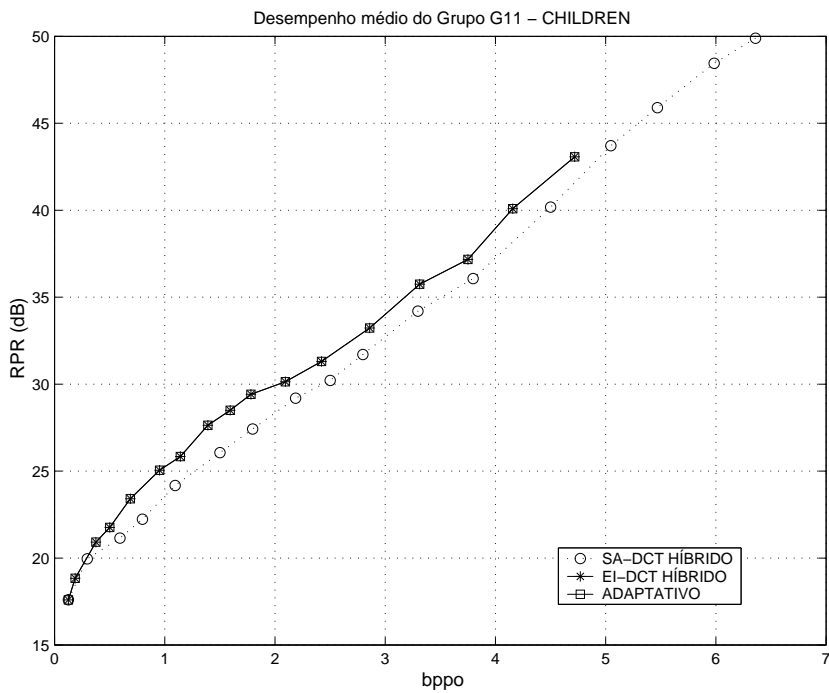


Figura 7.14: Desempenho de codificação do grupo G11 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *CHILDREN* (objeto 1, quadros 1 a 11)

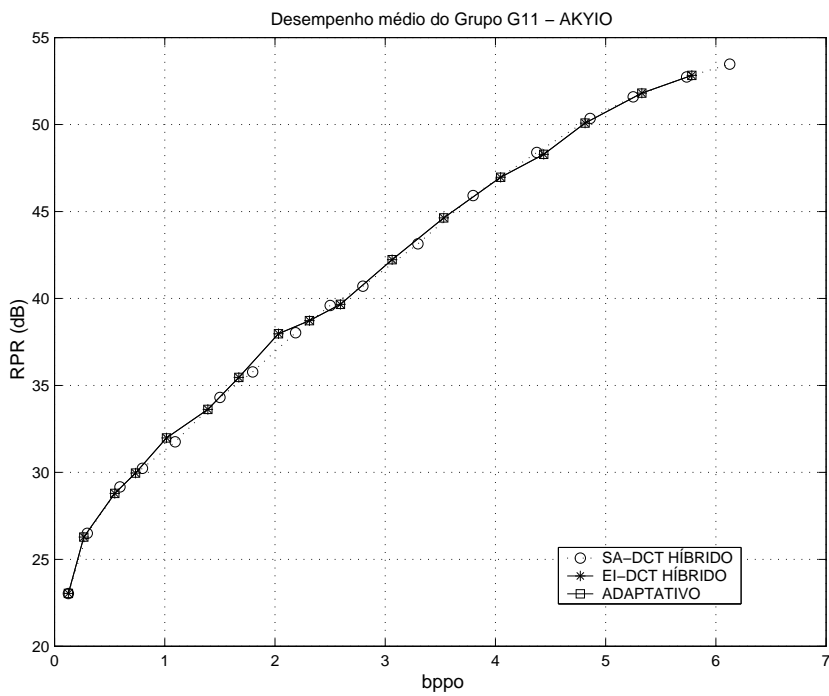


Figura 7.15: Desempenho de codificação do grupo G11 usando os esquemas SA-DCT HÍBRIDO, EI-DCT HÍBRIDO e ADAPTATIVO em *AKYIO*

Uma síntese da análise apresentada é feita a seguir:

- A capacidade de suavização de textura da EI-DCT é tanto maior quanto mais vazios forem os blocos;
- A SA-DCT requer uma menor taxa de *bppo* para a codificação dos blocos mais vazios, se comparada à taxa requerida pela EI-DCT;
- Nos grupos de blocos G1 e G2, a curva de desempenho da SA-DCT apresenta inclinação muito maior que a da curva de desempenho da EI-DCT e normalmente, não há interseção entre elas. Isso torna a SA-DCT mais eficiente;
- Nos grupos de blocos G3 a G5, a EI-DCT é mais eficiente a baixíssimas taxas (devido à sua capacidade de suavização de textura), mas à medida em que a taxa sobe, a SA-DCT torna-se mais eficiente (devido às curvas de desempenho mais inclinadas, uma vez que o número de pixels a codificar é significativamente menor);
- À medida em que os blocos tornam-se mais cheios, a quantidades de pixels a serem codificados pela EI-DCT e pela SA-DCT tendem a se tornar mais próximas, tornando as eficiências de codificação bastante dependentes das texturas médias nos grupos de blocos. Nesse caso, é necessária a análise do compromisso ‘CAPACIDADE DE SUAVIZAÇÃO DA TEXTURA x QUANTIDADE DE PIXELS A CODIFICAR’.
- Nos grupos de blocos G6 e G7, a capacidade de suavização da textura através da EI-DCT ainda é grande, mas o número de pixels a codificar através da SA-DCT é significativamente menor. Portanto, a EI-DCT é mais indicada para taxas baixas e SA-DCT, para taxas altas. O ponto de chaveamento entre ambas as estratégias depende do indicador TNPO:
 - Texturas baixas e médias: a EI-DCT é mais eficiente em praticamente todas as taxas; a SA-DCT torna-se superior para $taxa \geq 6bppo$;
 - Texturas altas: a capacidade de suavização de textura da EI-DCT é menos eficiente e portanto a SA-DCT torna-se mais indicada para $taxa \geq 4bppo$;
- Nos grupos de blocos G8 e G9, a capacidade de suavização da textura através da EI-DCT ainda é razoável.

- Texturas de médias a baixas: a EI-DCT normalmente é preferível para todas as taxas;
- Texturas muito altas: a suavização de textura através da EI-DCT não é suficiente para mantê-la mais eficiente que a SA-DCT a taxas altas;
- Em G10, a capacidade de suavização de textura através da EI-DCT é bastante limitada.
 - Textura média a baixa: a EI-DCT e a SA-DCT são equivalentes, sendo a SA-DCT ligeiramente superior;
 - Textura muito alta: a pequena suavização de textura proporcionada pela EI-DCT faz com que essa abordagem seja mais eficiente apenas a taxas baixas.
- Em G11, utiliza-se a DCT-2D, devendo-se fazer a opção pela matriz de alocação de bits da EI-DCT ou da SA-DCT.
 - alocação de bits da EI-DCT: prioriza os coeficientes de baixa frequência;
 - alocação de bits da SA-DCT: é mais fidedigna às estatísticas reais do objeto. Definindo $Tm =$ como a média do indicador TNPO para todos os grupos de blocos, temos que:
 - * Tm com valor de médio para alto: é preferível a alocação de bits da EI-DCT, que prioriza a informação dos coeficientes de baixa ordem;
 - * Tm com valor muito baixo: a variância dos coeficientes de alta frequência é naturalmente baixa, sendo mais adequado utilizar uma alocação de bits mais fidedigna às estatísticas reais do objeto.

7.3

Resultados e Discussão

As Figuras 7.16 a 7.21 mostram o desempenho de codificação (considerando todos os blocos) dos objetos utilizados neste estudo, codificados com (i) a SA-DCT usando a estratégia ‘COLUMNS-FIRST’ para a determinação da primeira direção de processamento [67], (ii) a estratégia EI-DCT usando a técnica ‘MILV’ para a escolha da direção preferencial de processamento do algoritmo de extrapolação [80] e (iii) o esquema adaptativo proposto. As

figuras apresentam um gráfico para taxas baixas e outro para taxas altas, de forma a facilitar a análise comparativa.

Analisando as Figuras 7.16 a 7.21, observa-se que o algoritmo adaptativo chaveia adequadamente entre o esquema de DCT baseada em blocos (mais adequado à codificação a taxas baixas) e o de DCT adaptativa à forma (mais adequado à codificação a taxas altas). Em geral, o desempenho do algoritmo adaptativo supera o melhor dos dois esquemas de codificação em qualquer faixa de taxa de bits.

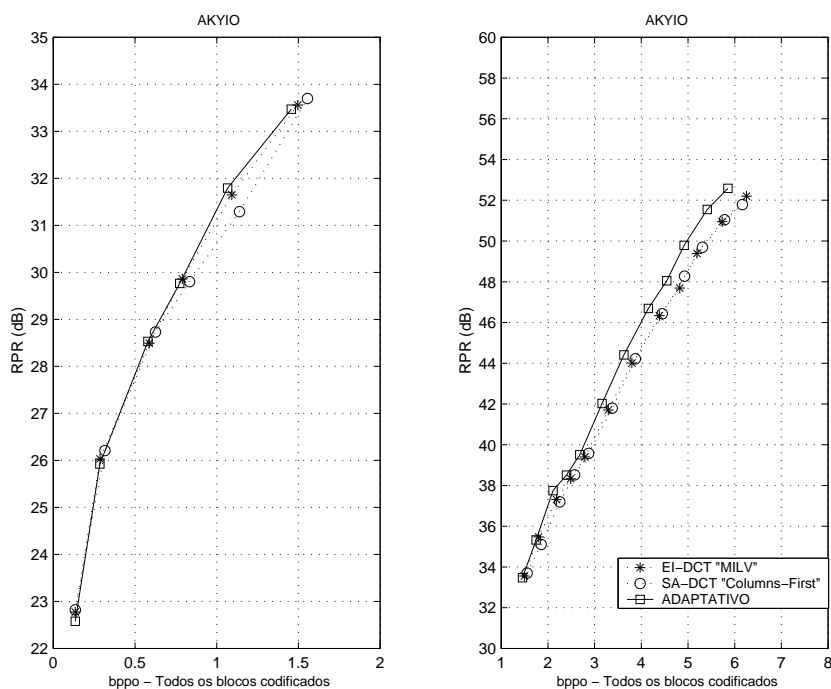


Figura 7.16: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para AKYIO

São apresentados nas Figuras 7.22 a 7.25 os gráficos de desempenho de codificação para outros objetos: *FIGHTER*, *CHILDREN* (objeto 2, quadros 1 a 11) e *FISH AND LOGO* (objetos 2 e 3, quadros 10 a 20). Os resultados obtidos com esses outros objetos corroboram os anteriormente obtidos.

Finalmente, a Figura 7.26 apresenta o desempenho médio de codificação para os objetos *AKYIO*, *LENA*, *FIGHTER*, *PEPPER* (objeto 1), *CHILDREN* (objetos 1 e 2, quadros 1 a 11), *FISH AND LOGO* (objetos 1, 2 e 3, quadros 10 a 20) e *WEATHER* (quadros 1 a 11). Note-se que a eficiência do esquema adaptativo foi igual ou superior à dos codificadores EI-DCT 'MILV' [80] e SA-DCT 'COLUMNS-FIRST' [67], para todas as faixas de taxas de bits.

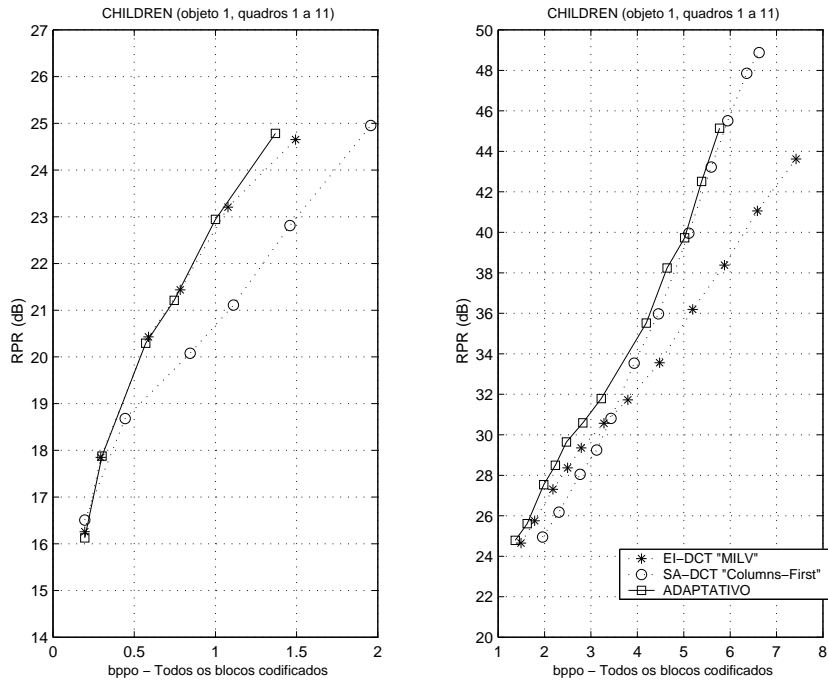


Figura 7.17: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *CHILDREN* (objeto 1, quadros 1 a 11)

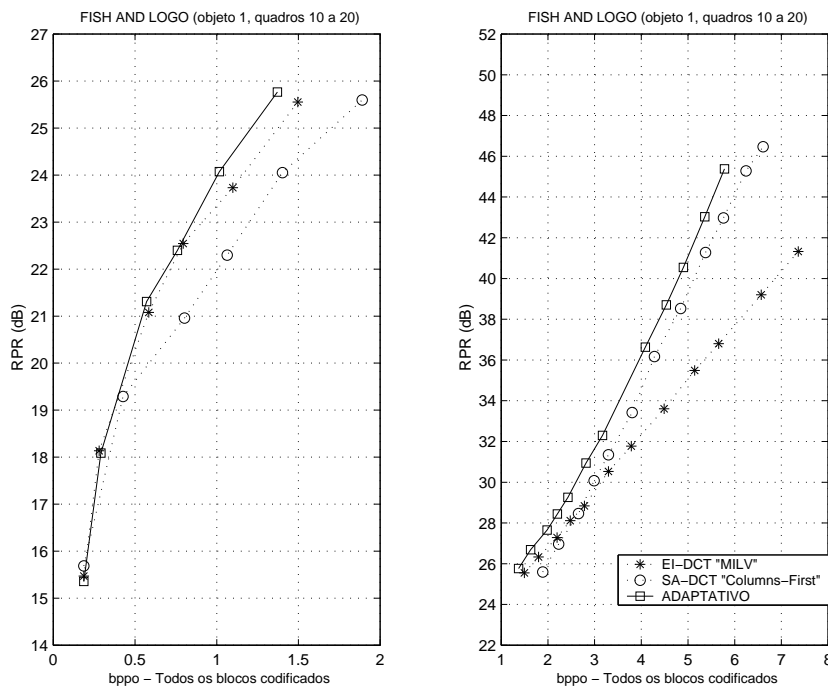


Figura 7.18: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *FISH AND LOGO* (objeto 1, quadros 10 a 20)

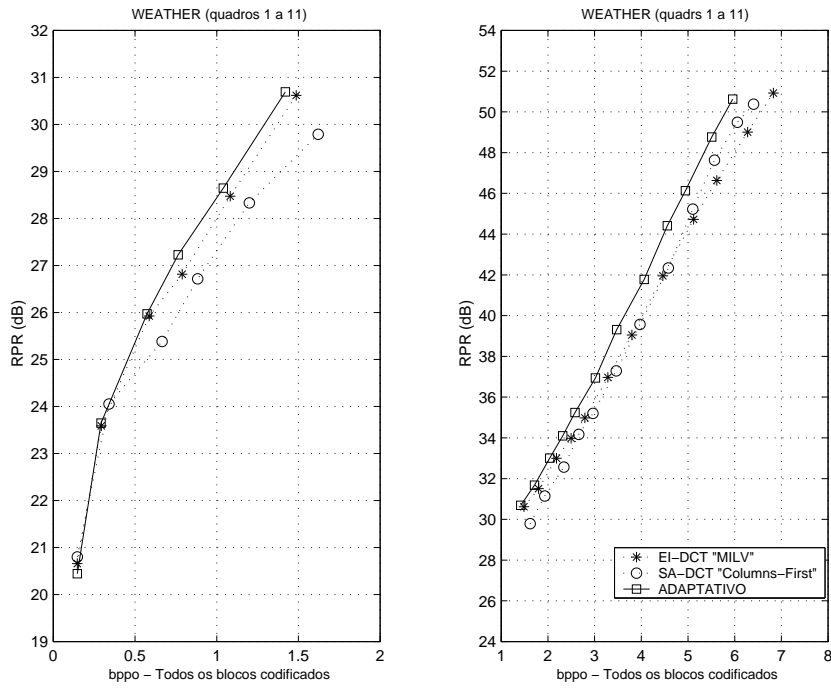


Figura 7.19: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *WEATHER* (quadros 1 a 11)

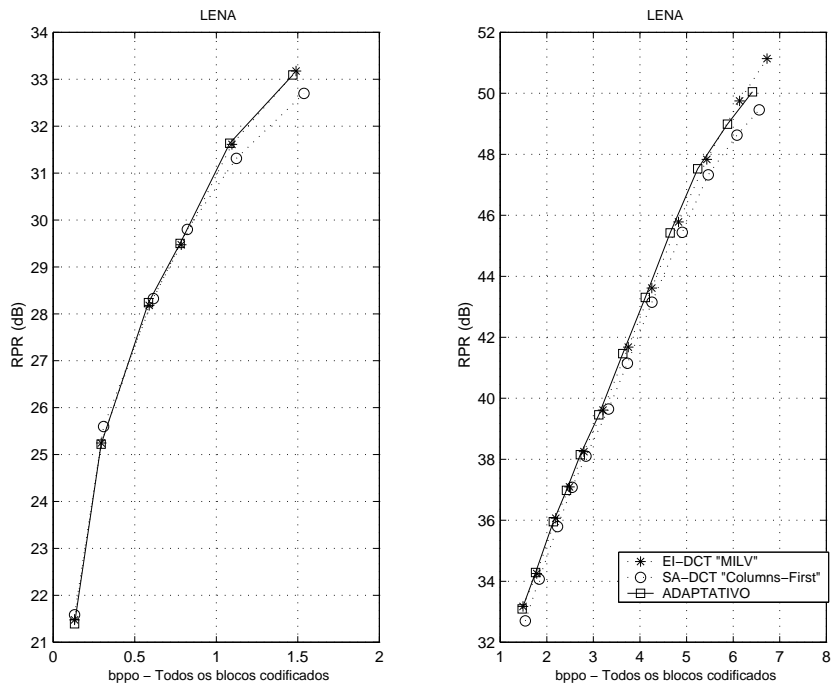


Figura 7.20: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *LENA*

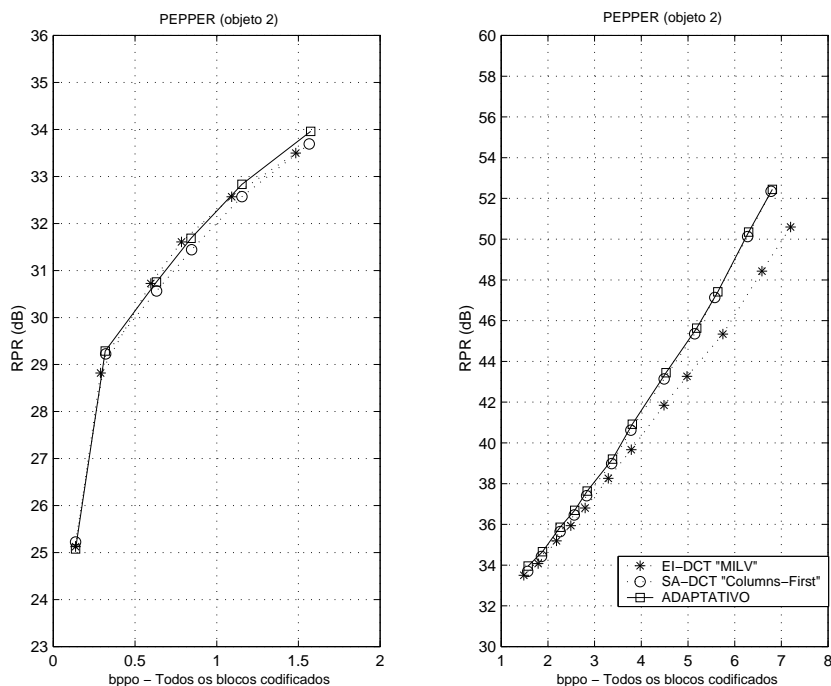


Figura 7.21: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para PEPPER (objeto 2)

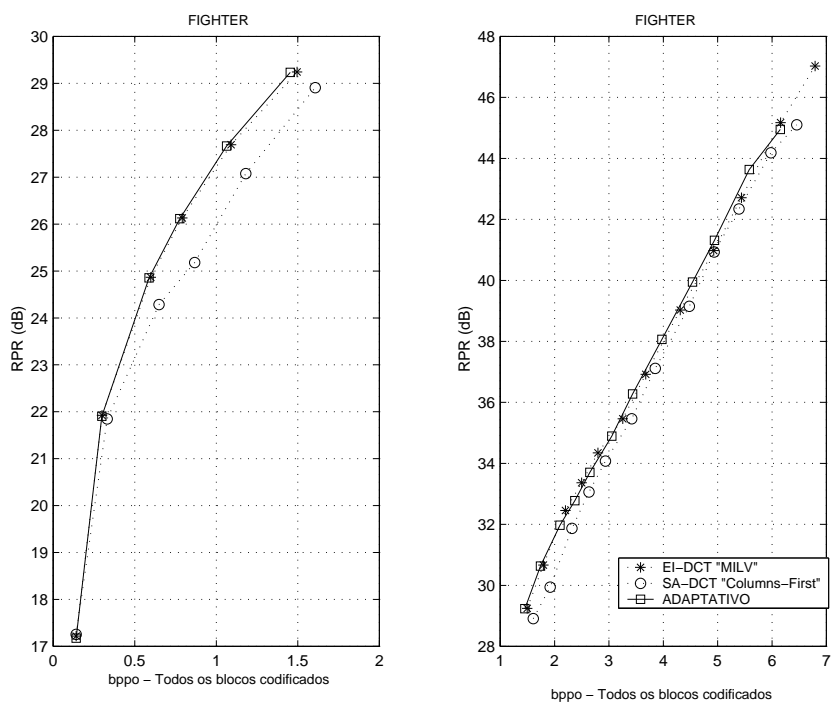


Figura 7.22: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para FIGHTER

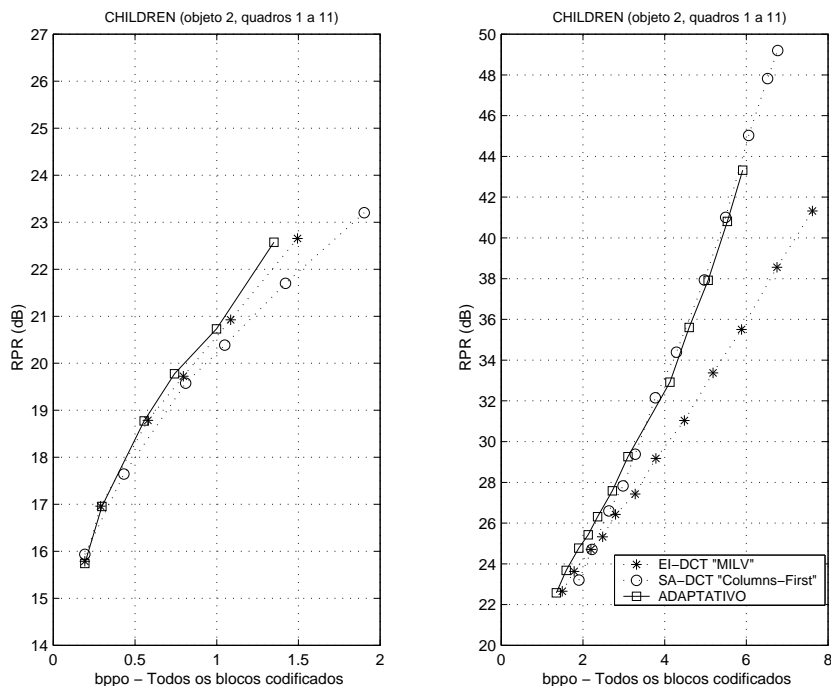


Figura 7.23: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *CHILDREN* (objeto 2, quadros 1 a 11)

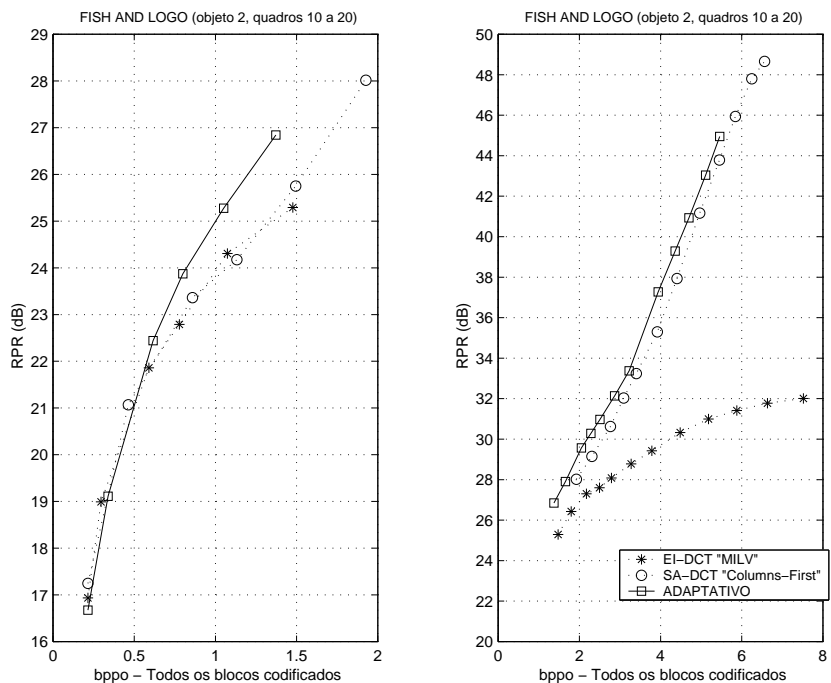


Figura 7.24: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *FISH AND LOGO* (objeto 2, quadros 10 a 20)

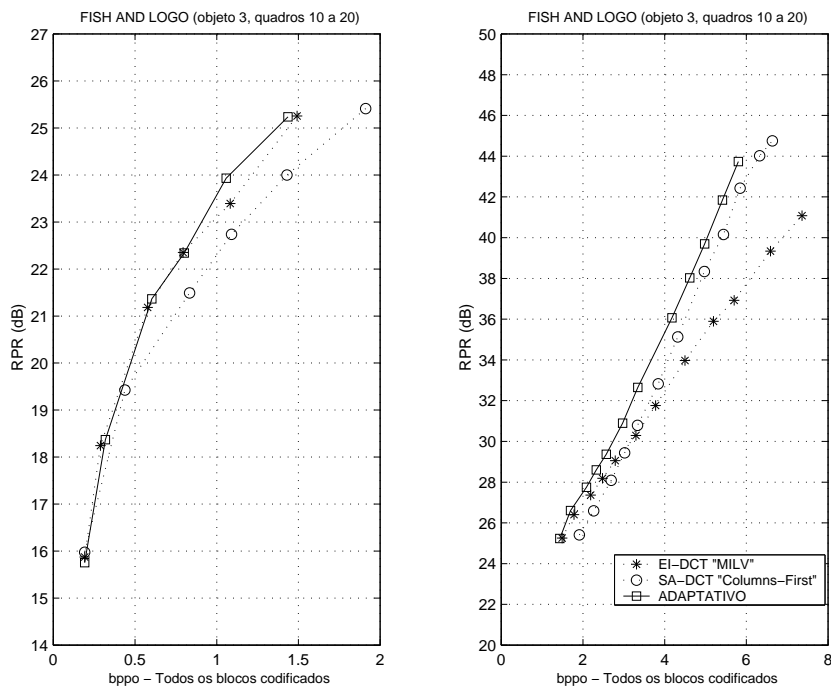


Figura 7.25: Desempenho do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para *FISH AND LOGO* (objeto 3, quadros 10 a 20)

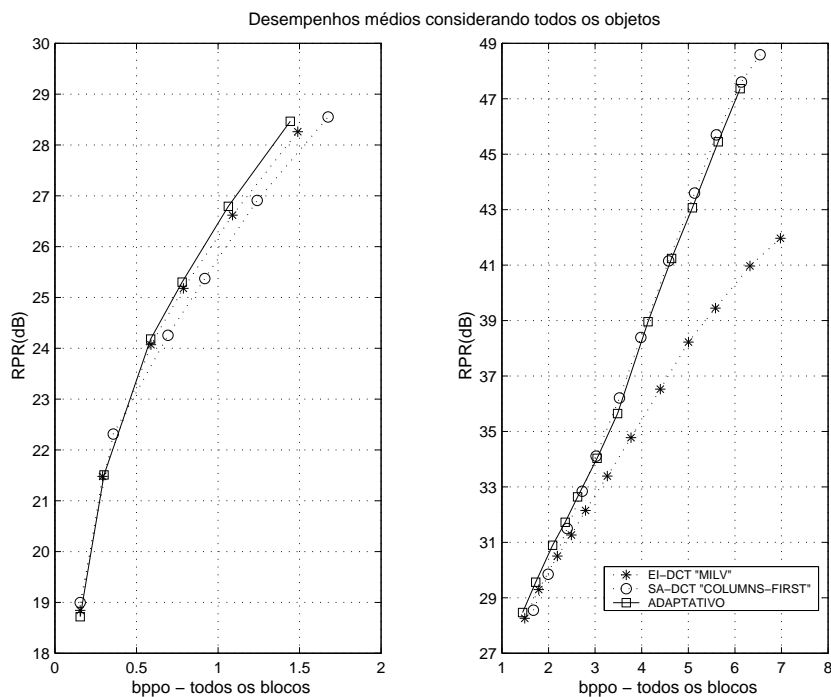


Figura 7.26: Desempenho médio do esquema ADAPTATIVO comparado à SA-DCT-COLUMNS-FIRST e à EI-DCT-MILV para todos os objetos

Para uma análise comparativa visual entre as eficiências de codificação dos algoritmos EI-DCT (associado à estratégia MILV para a determinação da direção preferencial [80]), SA-DCT (realizando o primeiro processamento na direção vertical [67]) e ADAPTATIVO, são apresentadas as Figuras 7.27 a 7.32. Essas figuras contêm conjuntos de quatro imagens, onde as imagens recuperadas após a codificação dos objetos usando os algoritmos citados podem ser comparadas à imagem original. Os resultados de codificação são apresentados na Figura 7.27 para *AKYIO* à taxa de 1,1 bppo, na Figura 7.28 para o objeto 1 de *CHILDREN* (quadro 9) à taxa de 1,35 bppo, na Figura 7.29 para o objeto 2 de *FISH AND LOGO* à taxa de 1,1 bppo, nas Figuras 7.30 e 7.31 para um quadro de *WEATHER* às taxas de 0,7 e 1,4 bppo, respectivamente, e finalmente, na Figura 7.32, para o objeto *FIGHTER* codificado a 0,8 bppo. Comparando as imagens de cada um desses conjuntos, observa-se que para qualquer taxa, o esquema adaptativo proposto foi capaz de produzir imagens visualmente comparáveis ou superiores às aquelas obtidas através da codificação com o melhor dentre os esquemas EI-DCT e SA-DCT. É importante ressaltar que, embora os ganhos de RPR do método adaptativo sobre esses esquemas a taxas altas sejam muitas vezes bem elevados, visualmente as diferenças são pequenas quando as imagens são observadas globalmente. Entretanto, as diferenças visuais podem ser significativas se observadas em determinados detalhes da imagem, conforme mostra a Figura 7.33. Essas diferenças, embora pequenas, podem ter importância real em aplicações como diagnóstico médico e Sistemas de Informações Geográficas (GIS), onde se trabalha com *zooms* elevados.



Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



EI-DCT "MILV"



ADAPTATIVO

Figura 7.27: *AKYIO* recuperado após codificação à taxa de 1,1 bpp

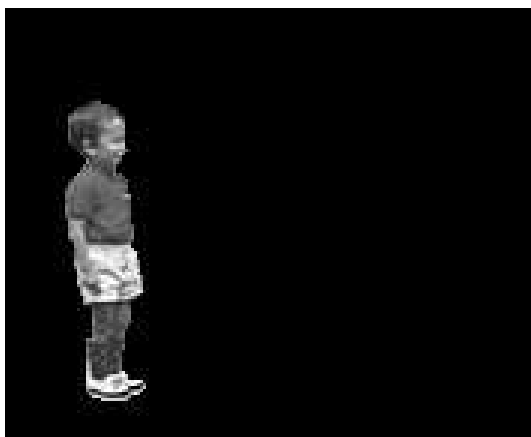
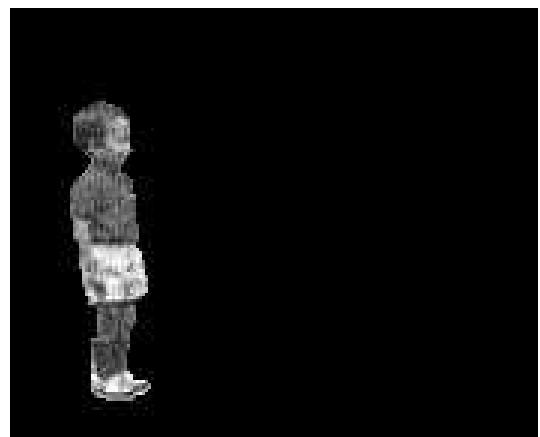
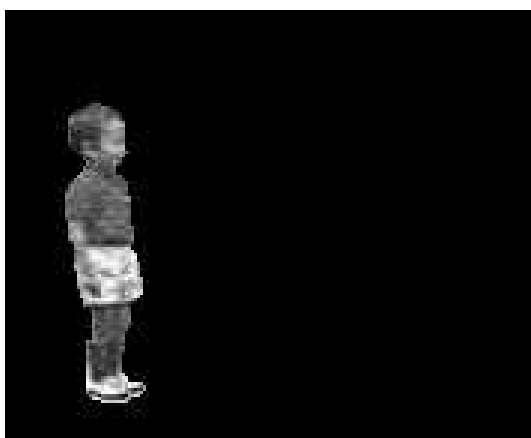


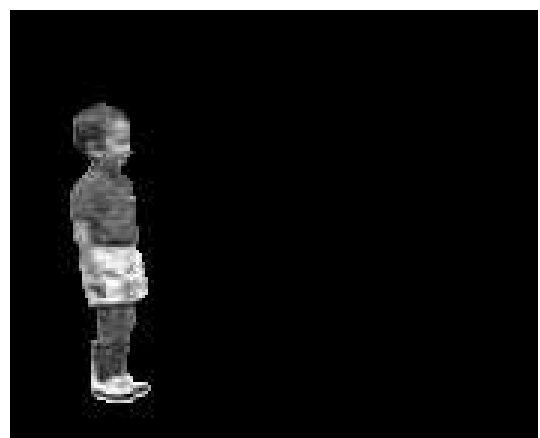
Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



EI-DCT "MILV"



ADAPTATIVO

Figura 7.28: Quadro 1 da seqüência *CHILDREN* (objeto 1) recuperado após codificação à taxa de 1,35 bpp

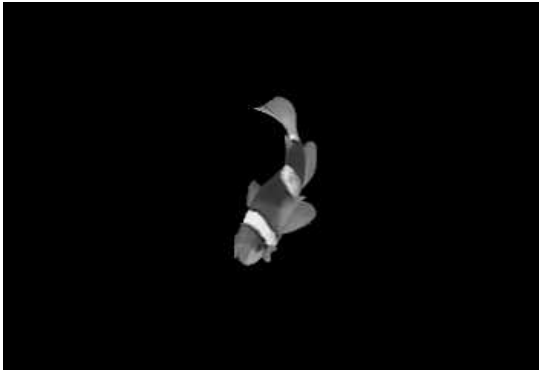
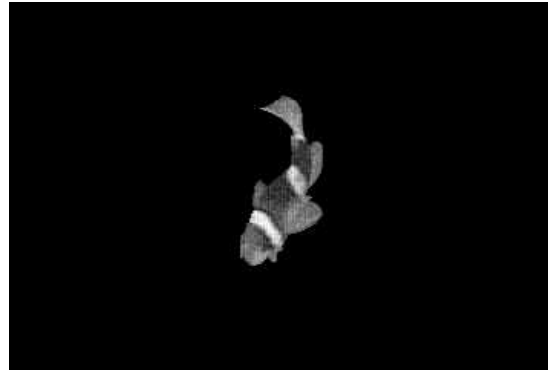
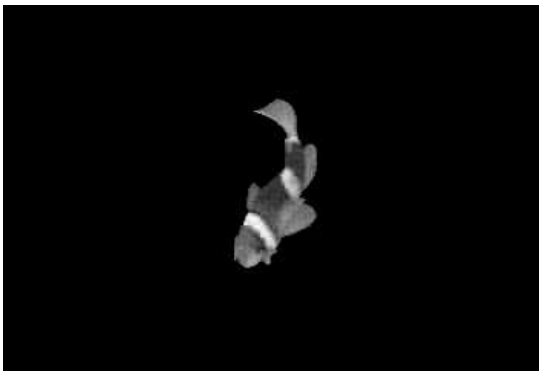


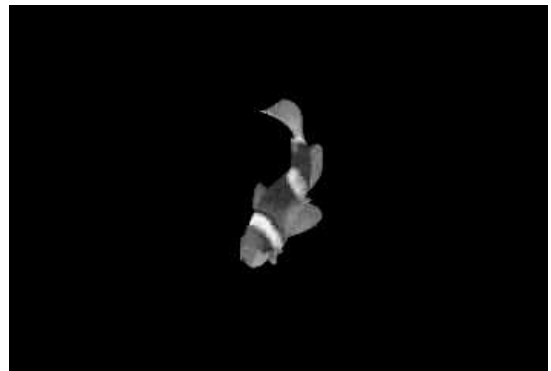
Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



EI-DCT "MILV"

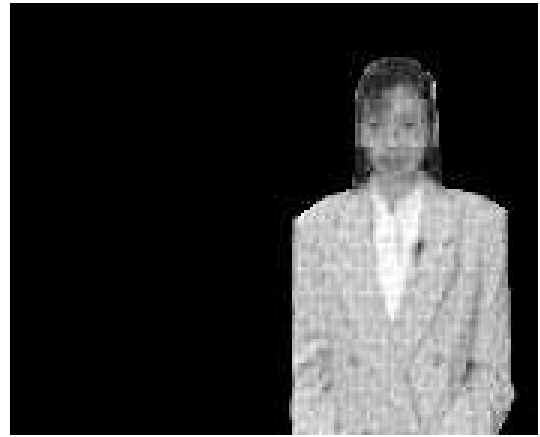


ADAPTATIVO

Figura 7.29: Quadro 20 da seqüência *FISH AND LOGO* (objeto 2) recuperado após codificação à taxa de 1,1 bpp



Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



EI-DCT "MILV"



ADAPTATIVO

Figura 7.30: Quadro 1 da seqüência *WEATHER* recuperado após codificação à taxa de 0,7 bpp



Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



EI-DCT "MILV"



ADAPTATIVO

Figura 7.31: Quadro 1 da seqüência *WEATHER* recuperado após codificação à taxa de 1,4 bpp



Imagem Original



SA-DCT "Columns-First"



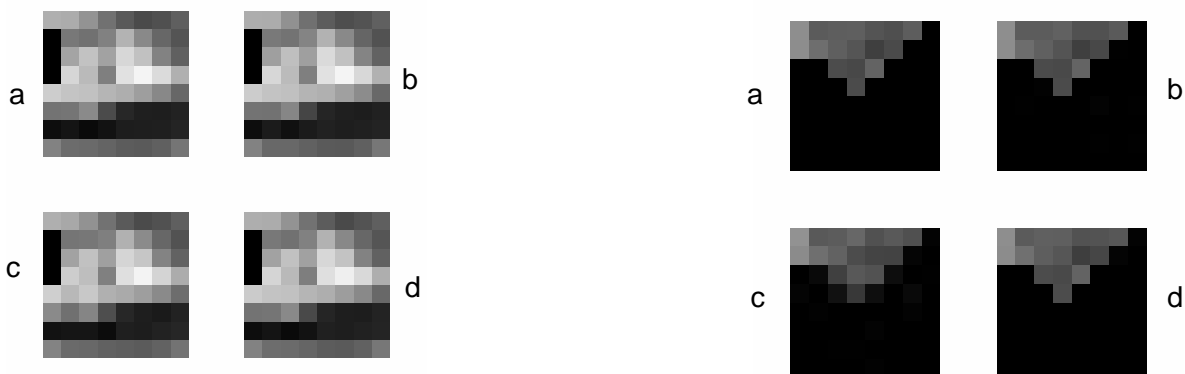
EI-DCT "MILV"



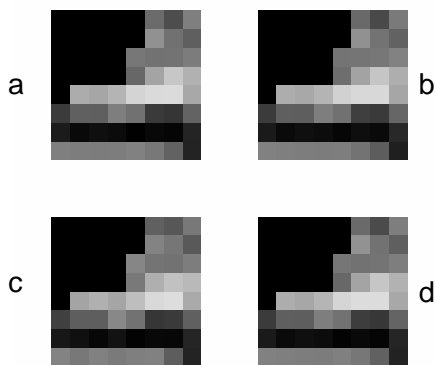
ADAPTATIVO

Figura 7.32: *FIGHTER* recuperado após codificação à taxa de 0,8 bpp

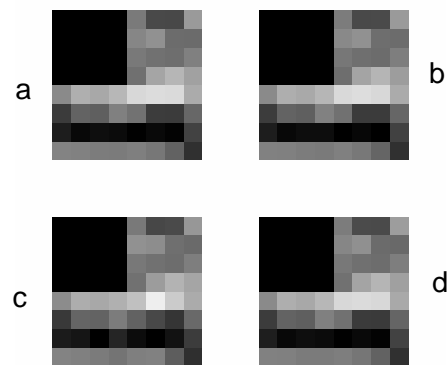
Quadro 9, linhas 79 a 86, colunas 113 a 120



Quadro 3, linhas 129 a 136, colunas 125 a 132



Quadro 6, linhas 121 a 128, colunas 121 a 128



Quadro 7, linhas 121 a 128, colunas 121 a 128

Figura 7.33: Detalhes de *CHILDREN* (objeto 2) à taxa de 5,5 bppo (a) Imagem Original; (b) SA-DCT “Columns-First”; (c) EI-DCT “MILV”; (d) ADAPTATIVO

Os esquemas híbridos propostos nos Capítulos 5, 6 e 7, além de serem algoritmos de codificação orientados por objeto, são também algoritmos orientados por grupos de blocos. Para que os resultados obtidos possam ser generalizados, é desejável que o número de blocos codificados seja expressivo para todos os grupos de blocos. Entendemos ainda que a alteração do tipo de particionamento da imagem, por alterar o indicador morfológico TNPO, que é a base de chaveamento desses esquemas, implica a codificação de um mesmo objeto, porém com uma nova distribuição de blocos. Portanto, os esquemas de codificação apresentarão características de chaveamento distintas. O fato de os esquemas propostos manterem-se comparáveis ou melhores em eficiência que MILV e MALV para todos os particionamentos também comprova a sua validade e possibilidade de generalização dos resultados. As Tabelas 7.3 a 7.5 apresentam o número de blocos em cada um dos grupos (G1 a G11) para os objetos codificados nesta tese, ao utilizarem-se os particionamentos Convencional, Ortogonal Ótimo e Flexível Ótimo. A Tabela 7.6, por sua vez, mostra o número de blocos total, somando-se os três casos. Observa-se que o número de blocos codificados foi expressivo para todos os grupos, o que enfatiza a validade dos esquemas propostos nos Capítulos 5, 6 e 7.

Tabela 7.3: Número de blocos por grupo em cada um dos objetos - Particionamento Convencional

OBJETO	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
AKYIO	16	13	4	7	9	3	5	6	7	17	550
CHILDREN (obj. 1)	55	22	32	46	27	28	37	31	26	27	157
CHILDREN (obj. 2)	70	52	51	26	25	38	37	51	40	57	213
FISH (obj. 1)	89	48	44	51	45	36	37	36	46	79	290
FISH (obj. 2)	151	82	48	32	38	32	32	49	36	73	232
FISH (obj. 3)	84	44	38	38	41	38	29	47	36	64	224
WEATHER	57	54	54	15	35	20	33	37	53	48	1003
LENA	24	24	26	13	17	9	8	13	14	30	1906
FIGHTER	21	6	6	18	21	5	14	15	7	11	451
PEPPER (obj. 2)	21	14	15	9	11	5	20	10	9	19	687
PEPPER (obj. 3)	16	11	15	7	25	10	16	5	7	23	794
TOTAL	604	370	333	262	294	224	268	300	281	448	6507

Tabela 7.4: Número de blocos por grupo em cada um dos objetos - Particionamento Ortogonal Simplificado

OBJETO	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
AKYIO	16	8	5	9	5	8	3	8	8	9	556
CHILDREN (obj. 1)	51	32	28	25	27	21	34	33	3	39	155
CHILDREN (obj. 2)	41	40	43	37	41	17	23	54	37	53	231
FISH (obj. 1)	69	51	43	34	40	35	50	36	41	63	309
FISH (obj. 2)	123	73	43	38	36	41	33	48	34	63	242
FISH (obj. 3)	67	26	52	33	41	33	33	29	42	58	241
WEATHER	43	83	32	31	29	16	11	23	26	24	1074
LENA	21	17	34	17	9	12	10	9	15	28	1908
FIGHTER	11	6	9	16	25	8	9	8	8	11	456
PEPPER (obj. 2)	11	14	11	16	13	4	8	8	18	12	69
PEPPER (obj. 3)	12	14	12	6	12	7	7	12	8	18	807
TOTAL	465	364	312	262	278	202	221	268	240	378	6048

Tabela 7.5: Número de blocos por grupo em cada um dos objetos - Particionamento Flexível Simplificado

OBJETO	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
AKYIO	4	7	8	7	7	3	4	11	4	12	556
CHILDREN (obj. 1)	17	19	29	33	16	20	34	32	35	48	150
CHILDREN (obj. 2)	12	18	26	24	40	33	45	38	49	45	232
FISH (obj. 1)	36	37	51	31	49	39	35	41	47	57	313
FISH (obj. 2)	71	68	43	42	37	47	45	40	36	44	255
FISH (obj. 3)	22	35	55	39	32	39	41	36	40	31	256
WEATHER	7	38	33	23	41	26	21	22	20	32	1066
LENA	8	10	22	14	16	17	8	10	15	26	1911
FIGHTER	4	6	10	16	23	7	17	9	7	6	457
PEPPER (obj. 2)	4	9	7	20	13	6	6	10	16	11	696
PEPPER (obj. 3)	3	10	9	13	6	7	10	12	10	12	812
TOTAL	188	257	293	262	280	244	266	261	279	324	6704

Tabela 7.6: Número total de blocos por grupo nos Particionamentos Convencional, Ortogonal Simplificado e Flexível Simplificado

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
TOTAL GERAL	1257	991	938	786	852	670	755	829	800	1150	19259

7.4 Conclusões

Neste capítulo, foi proposta a utilização do indicador morfológico TNPO, apresentado no Capítulo 4, na análise comparativa de eficiência de codificação dos esquemas híbridos propostos para a EI-DCT [97] e para a SA-DCT, apresentados nos Capítulos 5 e 6, respectivamente.

Os resultados dessa análise levaram à proposição de um esquema de codificação orientada por objeto adaptativo em função da taxa de bits, da textura e da forma do objeto a ser codificado. Para cada grupo de blocos de contorno, o codificador adaptativo faz a opção por uma entre duas estratégias básicas: o esquema híbrido proposto para a EI-DCT ou o esquema híbrido desenvolvido para a SA-DCT, dependendo da taxa de bits e do indicador TNPO [95]. Ao optar por uma das estratégias, o codificador adaptativo utiliza a alocação de bits associada à estratégia correspondente. Ressalta-se que todos os esquemas propostos nesta tese, além de serem algoritmos de codificação orientados por objeto, também são algoritmos orientados por grupos de blocos, valendo-se de informações fornecidas pelo indicador morfológico TNPO.

Em geral, a SA-DCT é mais eficiente que a EI-DCT nos blocos vazios. Os blocos medianamente preenchidos são melhor codificados a taxas baixas utilizando-se a EI-DCT. Porém, à medida em que a taxa sobe, a SA-DCT tende a tornar-se mais eficiente. O valor da taxa fixada para o chaveamento entre as estratégias é definido, para esses blocos, com base no indicador TNPO do objeto a ser codificado. Nos blocos mais cheios, a alocação de bits utilizada influencia bastante no desempenho final de codificação, devendo ser analisada em conjunto com a capacidade de suavização de textura proporcionada pela estratégia EI-DCT. Foi mostrado que essa capacidade depende, essencialmente, da textura média nesses grupos e de quão cheios apresentam-se os blocos. Os resultados obtidos nesta tese foram obtidos a partir de um número expressivo de blocos em cada um dos grupos, apontando para a possibilidade de generalização desses resultados.

Para a faixa de 0 a 8 bppo, a RPR obtida com o esquema adaptativo mostrou-se comparável ou superior à melhor dentre as estratégias reconhecidas na literatura como as mais eficientes para a codificação a taxas baixas - EI-DCT - e a taxas altas - SA-DCT. A taxas baixas, a qualidade visual das imagens codificadas com o esquema adaptativo é igual ou superior à melhor estratégia entre EI-DCT e SA-DCT. Contudo, à medida em que a taxa sobe, apesar da RPR ser significativamente maior para o esquema

adaptativo, as diferenças visuais não são percebidas ao analisar-se o objeto como um todo. Diferenças de qualidade visual pontuais podem ser observadas analisando-se regiões retangulares menores, em torno de 8×8 pixels. Essas diferenças são importantes em aplicações onde se empregam *zooms* elevados, como diagnóstico médico e Sistemas de Informações Geográficas.

Uma outra vantagem do esquema adaptativo é que o conjunto final de coeficientes não necessita ser computado a cada mudança da taxa de bits. Ao contrário, ele pode ser previamente calculado para quatro faixas de taxas de bits específicas: menores que 2 bppo, 2 a 4 bppo, 4 a 6 bppo e maiores que 6 bppo. Essa característica também aumenta o conjunto de aplicações possíveis para o esquema adaptativo proposto.