

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DEPARTAMENTO DE COMUNICAÇÕES

*Este exemplar corresponde à redação final de tese
defendida por EDUARDO GUILLERMO CORREA ARANEDA
e aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de Abril
de 1990.*

Yuzo Iano

UMA PROPOSTA DE MODIFICAÇÃO DE UM SISTEMA
MCPD PARA TRANSMISSÃO DE SINAL DE TELEVISÃO
PAL-M EM TAXAS COMPATÍVEIS COM 34 MBIT/s.

AUTOR : EDUARDO GUILLERMO CORREA ARANEDA

ORIENTADOR : YUZO IANO

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia Elétrica da
Universidade Estadual de Campinas
- UNICAMP - como parte dos
requisitos exigidos para obtenção
do título de MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

MARÇO 1990

P R E F Á C I O

O presente trabalho está dividido em 4 capítulos que tratam de uma proposta de modificação do esquema MCPD ("Modulação por Código de Pulsos Diferencial") a fim de se digitalizar um sinal de televisão comercial PAL-M. A taxa-meta para codificação do sinal de vídeo deve ser compatível com aquela usada nos sistemas de transmissão que trabalham com feixes de 34 Mbit/s.

No Cap.I descrevem-se as motivações e as limitações deste estudo. Faz-se também uma descrição geral dos objetivos, ressaltando-se a importância da redução da taxa de bits.

No Cap.II descreve-se o sistema proposto e apresenta-se o equacionamento pertinente ao modelo do esquema bem como as discussões com relação às implicações que acarretam as modificações propostas. Realiza-se também uma discussão sobre os preditores e os quantizadores a serem usados para redução da taxa de bits.

No Cap.III modela-se o sistema para simulação e escolhem-se os parâmetros de avaliação objetiva do desempenho do sistema ressaltando-se também a importância da avaliação subjetiva da qualidade do sinal recuperado.

No Cap.IV analisam-se os resultados obtidos através de simulações e apresentam-se as conclusões. A ênfase é dada nas obtenções da relação sinal/ruído do sinal recuperado bem como da entropia do sinal transmitido.

A G R A D E C I M E N T O S

Meus sinceros e profundos agradecimentos as instituições e as pessoas que tornaram possível a realização de meus estudos em pós-graduação e que culminam agora com este trabalho de tese.

- A Universidade de Tarapacà e a Universidade de Campinas.
- A Yuzo Iano pela orientação deste trabalho.
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram com suas sugestões e críticas construtivas.
- A minha família pelo apoio incondicional compartilhando as minhas experiências.
- A Igor Arriagada, Osvaldo Saavedra, João Batista, Luis C. Martini, Normonds Alens e Rosivaldo Ferrarezi.

O autor

Eduardo Guillermo Correa Araneda

DEDICATÓRIA

A MINHA FAMÍLIA E AOS MEUS PAIS.

ÍNDICE

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
I.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
I.2 - OBJETIVOS E LIMITAÇÕES.....	8
 CAPÍTULO II - O SISTEMA MCPQ.....	12
II.1 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PROPOSTO MCPQ.....	12
II.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS.....	16
II.3 - TAXA DE BITS.....	18
II.4 - UMA PROPOSTA DE QUANTIZAÇÃO.....	19
II.4.1 - Quantizador não-uniforme para o sistema MCPQ.....	20
II.4.2 - Leis de quantização.....	25
II.5 - PREDITORES.....	27
II.5.1 - Amostragem com TAF para $f_a = (8/3)f_{sc}$	30
II.6 - MELHORAMENTO DO SISTEMA MCPQ (MCPQ-M).....	37
 CAPÍTULO III - DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA MCPQ.....	45
III.1 - INTRODUÇÃO.....	45
III.2 - CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO.....	46
III.2.1 - Degradação da Relação Sinal/Ruído.....	47
III.2.2 - Referência para a Relação Sinal/Ruído.....	48
III.2.3 - Distribuição Acumulada por Região.....	49
III.2.4 - Entropia do Sinal Quantizado HQ.....	51
III.3 - SIMULAÇÕES.....	51
III.3.1 - Quantizador.....	52
III.3.2 - Preditores.....	53

III.4 - PROCESSAMENTO DA IMAGEM.....	54
III.4.1 - Programa para Simulação.....	55
III.5 - O SISTEMA MCPQ.....	57
III.5.1 - Análise Subjetiva.....	60
III.6 - IMAGENS-PADRÃO DA "SMPTE".....	61
 CAPÍTULO IV - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E CONCLUSÕES.....	 64
IV.1 - MODELAMENTO E PROGRAMAS UTILIZADOS.....	64
IV.2 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	66
IV.2.1 - Análise dos Resultados.....	67
IV.2.2 - Simulações com o Sistema MCPQ-M.....	68
IV.2.3 - Discussão sobre os Resultados.....	75
IV.3 - CONCLUSÕES.....	76
 APÊNDICE A.....	 80
APÊNDICE B - PROGRAMAS PARA SIMULAÇÕES.....	81
 BIBLIOGRAFIA.....	 108

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

I.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Dentro do campo denominado processamento digital de sinais, o processamento de imagens de TV em cores é apenas um caso particular.

Atualmente na digitalização de sinais de TV em cores com qualidade de radiodifusão se aceitam de 6 a 8 bits por amostra. Assim, para a transmissão, de sinais de TV levando em consideração uma largura de faixa de 4,2 MHz no caso de sinais de TV no padrão M, e usando uma frequência de amostragem super Nyquist de $f_a = (8/3)f_{sc}$, existe uma taxa de bits codificada de aproximadamente 76 Mbit/s quando se considera 8 bits por amostra.

Caso se deseje utilizar um canal de transmissão de terceira hierarquia com taxas de 34 Mbit/s torna-se necessário uma redução considerável da taxa de bits de transmissão. Além disso, existe a preocupação de se manter uma qualidade aceitável da imagem transmitida.

Muitos trabalhos têm sido publicados com o fim de se obter uma redução da taxa de bits para transmissão digital de imagens de TV aproveitando-se algumas características tanto da imagem como do olho humano [1.1] [1.2].

O processamento digital de sinais de TV pode ser considerado um campo muito amplo para pesquisa e desenvolvimento com múltiplas aplicações na transmissão, processamento e implementação de novos sistemas aproveitando-se as muitas

vantagens dos sistemas digitais como por exemplo o armazenamento de dados, o que permite o uso de computadores para simulações.

No processo de geração do sinal de televisão pode-se observar diversos aspectos que são descritos a seguir.

A câmera de TV faz a conversão foto-elétrica do sinal luminoso proveniente do objeto e dessa forma a cena (objeto da câmera) é transformada em sinal elétrico depois de a luz ter passado por três conjuntos de filtros simples e dicróicos. A cena que na verdade é dinâmica, pode ser transmitida considerando-se a imagem como um conjunto finito de imagens estáticas espaçadas temporalmente, em $1/24$ s, tempo menor do que o tempo de persistência do olho humano. Dependendo dos filtros estes sinais devem ser corrigidos por um fator "gama", como é mostrado na Fig.I.1 [1.1],[1.3]. Os sinais elétricos correspondem aos denominados sinais ou componentes primários vermelho " E'_R ", verde " E'_G " e azul " E'_B " ("" significa correção gama). Essas cores primárias podem reproduzir quase toda a gama de cores visível ao olho humano e portanto também poderão compor a cena tomada por uma câmera [1.3].

A partir dos três sinais primários de acordo com a forma final do sinal de TV pode-se usar dois métodos de transmissão e processamento, quais sejam por "componentes" e "composta". Nós estamos interessados na "composta" sem nos importarmos com as vantagens e desvantagens que existam nesses métodos.

O sinal composto E'_M deve conter, além da imagem a ser transmitida, toda a informação para recuperá-la no receptor. Assim o sinal composto é formado de uma parte "ativa", que contém a informação da imagem e de uma parte "não ativa" que contém todos os sinais de sincronismo. A parte ativa do sinal composto

E'_M é formada pelo sinal de "crominância" E'_C e pelo sinal de "luminância" E'_Y . Tem-se:

$$E'_M = E'_Y + E'_C$$

I.1

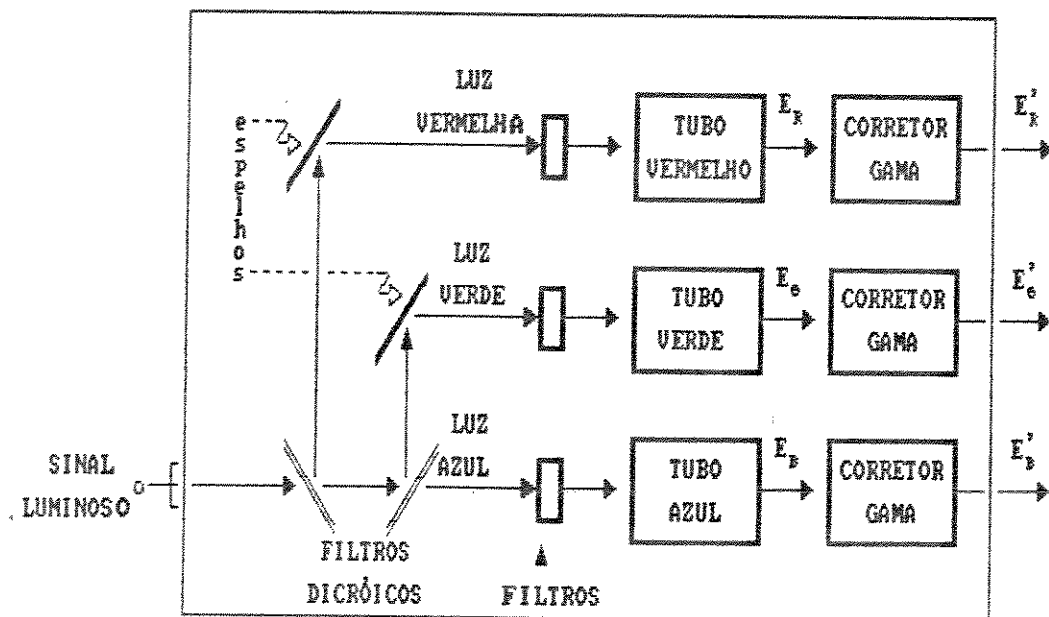


Fig.1.1 - Transdução da informação luminosa para componentes elétricas primárias.

O sinal de luminância é necessário para tornar compatível a televisão em preto e branco com o sistema de televisão em cores, e vale em termos dos sinais primários:

$$E'_Y = 0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,114E'_B$$

I.2

O sinal de crominância na forma mais simples é formado por dois sinais diferença de cor, denominados " E'_U " e " E'_V " que em termos dos sinais primários de cor valem:

$$E'_U = 0,493(E'_R - E'_Y)$$

I.3

$$E'_V = 0,877(E'_R - E'_Y) \quad \text{I.4}$$

Esses sinais são modulados em quadratura na frequência da subportadora de cor a fim de gerar o sinal de cromaticidade.

$$E'_C = E'_U \sin \omega_{sc} t + m(t) E'_V \cos \omega_{sc} t \quad \text{I.5}$$

onde "m(t)" é o chaveamento PAL que vale "1" ou "-1" alternadamente em linhas consecutivas do mesmo campo de uma imagem de TV; " ω_{sc} " é a frequência angular da subportadora de cor e vale:

$$\omega_{sc} = 2\pi f_{sc} \quad \text{I.6}$$

sendo " f_{sc} " a frequência da subportadora de cor. Para o caso PAL-M essa frequência vale:

$$f_{sc} = 3,575611 \text{ MHz} \pm 10 \text{ Hz} \quad \text{I.7}$$

O sinal de vídeo composto E'_M fica então:

$$E'_M = E'_Y + E'_U \sin \omega_{sc} t + m(t) E'_V \cos \omega_{sc} t \quad \text{I.8}$$

A equação I.8 representa então o sinal de vídeo composto ativo em banda base e que no sistema PAL-M deve estar limitado em 4,2 MHz [1.4]. O sinal de luminância ocupa uma faixa máxima de 4,2 MHz, enquanto que os sinais diferença de cor estão limitados em banda base em 1,3 MHz. Logo, existe uma assimetria no espectro do sinal de cromaticidade em torno da subportadora de cor ($\approx 3,58$ MHz). Assim, os sinais E'_U e E'_V são modulados em VSB ("Vestigial Side Band"), o que faz com que a equação I.8 seja mais complexa. [1.4], [1.5].

Atualmente existe a necessidade do sinal de vídeo ser transmitido na forma digital. A transformação do sinal analógico para digital (A/D) é realizada depois que este é filtrado. A filtragem é realizada para evitar superposições de espectros de frequências quando se transforma o sinal digital em analógico (D/A) no receptor [1.6].

A transmissão do sinal de TV na forma digital tem consideráveis vantagens em relação à forma analógica. Por exemplo:

- a) A economia de potência de transmissão para uma mesma largura de faixa dada.
- b) Vantagens quanto à manipulação, armazenamento de dados e controle por meio de computadores.
- c) Maior imunidade aos ruídos e distorções.

A frequência de amostragem usada na digitalização é um outro parâmetro que dependerá da técnica de codificação A/D e do sistema utilizado (NTSC, PAL, SECAM ; NTSC = "NATIONAL TELEVISION SYSTEM COMMITTEE", PAL = "PHASE ALTERNATION LINE", SECAM = "SÉQUENTIEL COULEUR À MÉMOIRE"). No caso em interesse, um múltiplo da subportadora de cor, satisfazendo a condição de Nyquist, é utilizado.

O sinal filtrado e digitalizado, deve passar pelo denominado "Codificador Redutor de Redundância" (R^2). Este é um bloco que tem como objetivo remover grande parte da redundância contida em um quadro de TV a fim de diminuir a taxa de bits de

transmissão. A razão pela qual se diminui a taxa de bits na transmissão é porque o canal de transmissão tem uma largura de faixa de 34 Mbit/s sendo que a imagem digitalizada em 8 bits/amostra com uma frequência de amostragem de $(8/3)f_{sc}$ tem uma largura de faixa de aproximadamente 76 Mbit/s, o que torna impossível a transmissão de toda a informação por esse canal. Com respeito a esse tema existem muitos estudos feitos utilizando a correlação entre quadros, campos ou linhas da imagem de TV, além de diversas técnicas. No caso de transmissão, existe uma tendência em se utilizar métodos de codificação preditivos e, em particular, variações do tipo MCPD (Modulação por Código de Pulsos Diferencial).

No receptor deve ocorrer o processo de transformação do sinal elétrico em imagem luminosa a partir do sinal recuperado o qual deve ser decodificado e mostrado no monitor de imagem. A reprodução da cena composta pelas imagens estáticas transmitidas é realizada usando-se as 525 linhas de varredura para o sistema PAL-M. As linhas de varredura contêm as informações de vídeo ativo e os sinais de sincronismos para o controle do aparelho de TV.

O quadro de TV por definição é dividido em dois campos, um deles contendo as linhas pares e o outro contendo as linhas ímpares. Os campos são expostos alternadamente como é mostrado na Fig I.2. A enumeração de linhas, campos e quadros são mostrados na Fig.I.1. A Tab.I.1 mostra os valores dos diversos parâmetros de tempos e de frequências correspondentes a um sinal de televisão no sistema em cores PAL-M.

Deve-se frisar que este trabalho é realizado para sinais no sistema PAL, porém os estudos deverão ser extendidos para o

sistema NTSC uma vez que existe a tendência atual de utilização desse sistema nos estúdios brasileiros de radiodifusão.

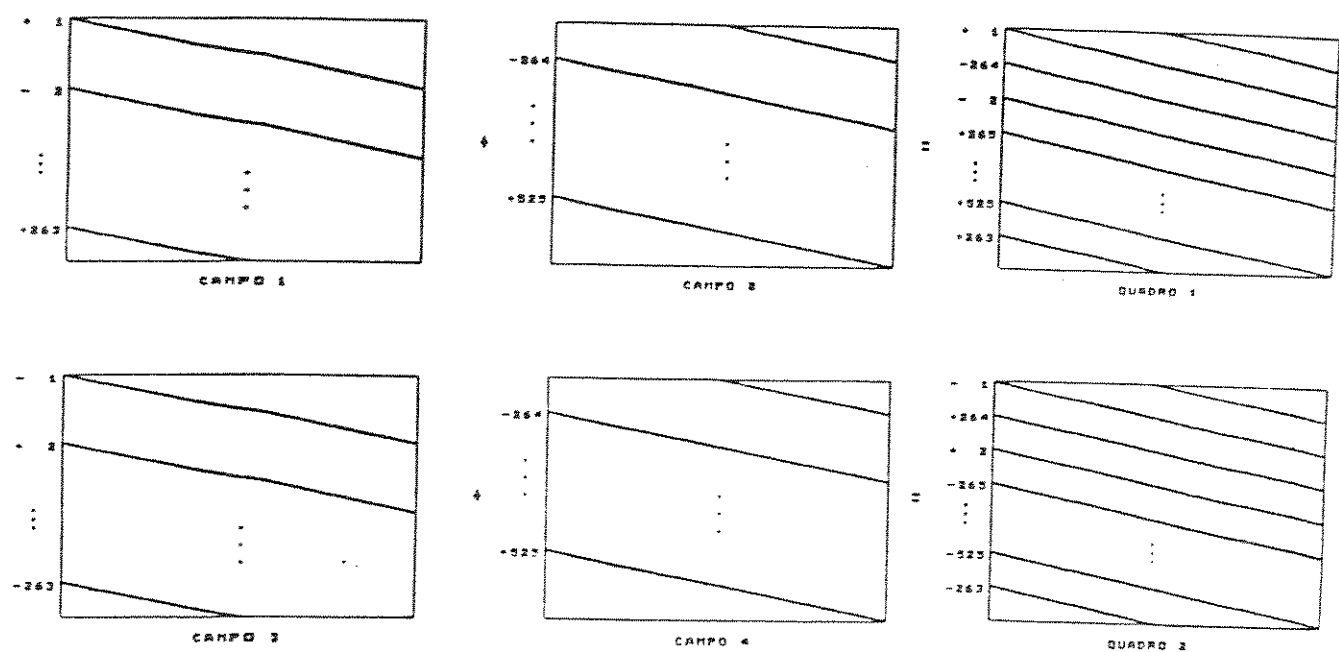


Fig.1.2 - Enumeração das linhas em 2 quadros de IV consecutivos.

T_Q = PERÍODO DE UM QUADRO	33 366,670 μ s
f_Q = FREQUÊNCIA DE QUADROS	29 970 Hz
T_C = PERÍODO DE UM CAMPO	16 683,330 μ s
f_C = FREQUÊNCIA DE CAMPOS	59,940 Hz
T_H = PERÍODO E VARREDURA DE UMA LINHA	63,550 μ s
f_H = FREQUÊNCIA DE LINHAS	15 764,264 Hz

Tabela I.1. - Relações de quadros, campos e linhas.

1.2 - OBJETIVOS E LIMITAÇÕES.

O estudo apresentado neste trabalho tenta demonstrar a viabilidade de uma modificação do sistema convencional MCPD (Modulação por Código de Pulsos Diferencial) e aqui denominado MCPQ (Modulação por Código de Pulsos Quociente). Tal sistema visa a redução da redundância contida na imagem de TV, para diminuir a taxa de bits de transmissão com um bom desempenho em termos de relação sinal/ruído a fim de assegurar uma boa qualidade subjetiva da imagem recuperada.

A frequência de amostragem é um parâmetro muito importante para a compressão de faixa do sinal de vídeo, tanto no sistema MCPQ quanto no sistema MCPD, pois ela influencia diretamente na taxa de bits "R". Por outro lado essa taxa está também diretamente relacionada com o número médio de bits por amostra "N". De fato:

$$R = f_a * N$$

I.9

Também pode-se dizer que o valor "N" representa, no melhor dos casos, a "entropia" do sinal a ser codificado nos sistemas anteriormente citados.

Sendo a entropia um dado estatístico, ela deveria ser obtida em função da imagem, da frequência de amostragem e fundamentalmente do algoritmo de predição. Acontece que no caso de radiodifusão, as imagens variam muito, isto é, existe uma infinidade de tipos de cenas que podem estar associadas a um quadro de TV. Assim, a SMPTE ("Society of Motion Picture and Television Engineers") padronizou um conjunto de cenas estáticas

que representam as diversas variações que poderiam ter o sinal de TV. Algumas dessas imagens-padrão serão utilizadas no presente trabalho para se fazer a avaliação do sistema.

Tem-se escolhido uma frequência de amostragem de $(8/3)f_{sc}$ devido ao fato de que essa frequência satisfaz as seguintes condições:

- a) A condição de Nyquist ($f_a \geq 2f_{sc}$) e também a condição $f_a \leq 4f_{sc}$ (a fim de reduzir a taxa de bits).
- b) O valor de $f_a = (r/d) * f_{sc}$ onde "r" e "d" são valores estritamente positivos facilitando assim a implementação física.
- c) As amostras ficam alinhadas na vertical o que facilita a análise e implementação.
- d) Existe a possibilidade de comparação com o sistema MCPD estudado nessa frequência.

Trabalhos anteriores mostram que a condição que a frequência de amostragem deve satisfazer para evitar as interferências entre os sinais de luminância e crominância é [1.1] :

$$f_{sc} = \frac{909}{4} f_H \quad \text{I.10}$$

sendo f_H a frequência de linha de varredura horizontal. Como a frequência de amostragem é igual a $(8/3)f_{sc}$ então tem-se :

$$T_H = 606 T_a$$

I.11

onde " T_a " é o período da frequência de amostragem. A equação anterior mostra que existem exatamente 606 amostras em cada linha.

A idéia é transmitir a informação contida na imagem com um mínimo de distorção possível e com uma taxa de bits que respeite a capacidade do canal de transmissão. O quantizador é o maior responsável pela diminuição da taxa de bits, assim como o preditor é o maior responsável pela qualidade do sinal recuperado.

Quanto melhor for o preditor, o sinal previsto será tanto mais parecido com o sinal de entrada. Na entrada do quantizador, a entropia deverá ser maior do que na saída do quantizador. Isso é devido ao fato de que na saída do quantizador a distribuição dos valores dos números é menor, implicando em uma degradação da imagem.

O quantizador faz uma diminuição da entropia ao custo de uma perda da informação contida no sinal, o que se traduz em uma degradação da relação sinal/ruído e uma degeneração na qualidade do sinal a ser transmitido e recuperado. Assim pode-se avaliar a importância que tem o preditor e o quantizador justificando-se dessa forma o fato de que são considerados como sendo as partes mais importantes do sistema.

Os quantizadores que se analisam neste trabalho, são formados por três regiões. A cada região associam-se palavras de comprimentos diferentes porém fixos.

Na procura dos preditores supõe-se que a previsão deva ser correta em áreas de cor uniforme. O modelamento matemático

considera que as variações são lentas e lineares dentro de uma linha. Na previsão utiliza-se a Técnica de Amarração de Fase (TAF) e preditores com um máximo de três coeficientes não nulos. Os preditores consideram as amostras passadas da linha atual e da linha anterior do mesmo campo.

Nas simulações, economiza-se memória do computador devido ao fato de se usar apenas duas linhas do mesmo campo para se fazer a previsão, sendo necessário apenas quatro linhas de um quadro para o processamento de toda a imagem estática.

CAPÍTULO II

O SISTEMA MCPQ

O SISTEMA MCPQ

II.1 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PROPOSTO MCPQ

Uma aplicação do sistema MCPQ (Modulação por Código de Pulsos Quociente), como redutor de redundância é na transmissão de imagens de TV comercial PAL-M. As simulações para avaliação são feitas utilizando-se as imagens-padrão da SMPTE.

Sabe-se que a quantidade de informação contida no sinal de vídeo composto é grande, quando comparada por exemplo com a informação contida num sinal de voz. As imagens-padrão da SMPTE foram digitalizadas em 8 bit/amostra com uma frequência de amostragem de 10 MHz, o que resulta em uma taxa de cerca de 80 Mbit/s. Pretende-se transmitir essa imagem por um canal MCPD de terceira hierarquia que suporta uma taxa um pouco maior que 34 Mbit/s, o que significa, que deve ser feita uma compressão de faixa da ordem de 2,4 vezes e, isso sem perder a qualidade da imagem transmitida.

A idéia básica do sistema MCPQ é a transmissão do sinal quociente quantizado, obtido a partir do sinal atual e da amostra prevista, ao invés de se transmitir a diferença, como acontece no sistema MCPD [2.1] [2.2]. A Fig.II.1 mostra o esquema básico do sistema proposto MCPQ. O sistema consta de um divisor de sinais, um quantizador "Q", de um multiplicador, de um preditor "P", e de um limitador "L". Neste esquema a idéia da previsão é prever o valor da amostra " $\hat{x}$ " que está entrando no instante " t " em função

de amostras passadas. Quanto mais corretas forem as previsões das amostras, tanto melhor será a qualidade da transmissão.

Da saída do quantizador é tomado o sinal para ser codificado pelo conversor de código "CC" e, posteriormente transmitido. Este conversor de código não é analisado neste trabalho, porém a sua implementação física é muito simples.

O objetivo do quantizador é produzir a diminuição da taxa de bits de transmissão, com uma degradação aceitável da informação que contém a imagem.

O preditor tem a função de prever a próxima amostra a ser transmitida, aproveitando a informação que está contida nas amostras anteriores.

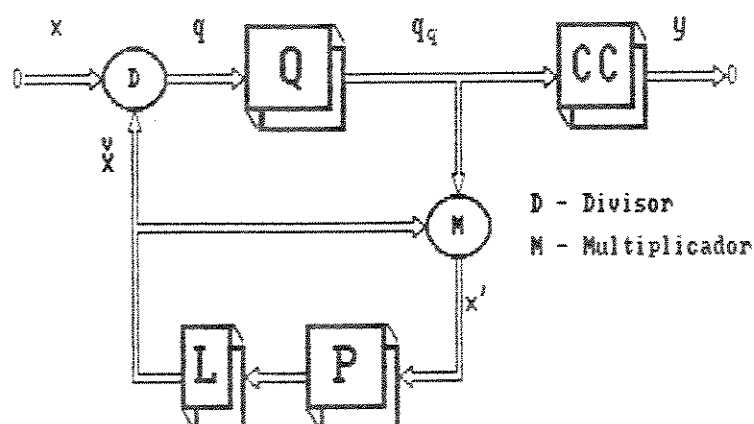


Fig.II.1 - O sistema MCPQ.

O limitador tem como objetivo controlar o sinal de saída do preditor dentro dos limites de variação do sinal de entrada uma vez que não há sentido em se fazer uma previsão com valores fora destes limites.

No sistema MCPQ "x" é o sinal composto digitalizado em 8 bits/amostra obtido das três imagens de cores primárias da SMPTE, as quais foram processadas e filtradas para se obter o sinal composto correspondente.

O resultado do quociente entre o sinal "x" (dividendo) e o sinal " $\check{x}$ " (divisor) será o sinal quociente "q":

$$q = x / \check{x} \quad \text{II.1}$$

neste caso, " $\check{x}$ " é o valor previsto da amostra "x". No caso ideal " $\check{x}$ " deveria ser igual ao valor da amostra anterior.

O sinal quociente entra no quantizador "Q" o qual, no caso mais geral, segue uma lei não-uniforme e não-simétrica em torno de "1" como será visto mais adiante. A saída quantizada " q_q " é então dada por:

$$q_q = q + \varepsilon_q \quad \text{II.2}$$

onde " ε_q " é o erro de quantização. O quociente quantizado é então multiplicado com o valor do sinal previsto " $\check{x}$ " resultando assim o sinal recomposto "x'" que é usado para se fazer a predição. Tem-se:

$$x' = q_q * \check{x} \quad \text{II.3}$$

Substituindo as equações II.1 e II.2 em II.3 obtem-se:

$$x' = x + \varepsilon_q \check{x} \quad \text{II.4}$$

Nesta última expressão o erro de quantização é multiplicado pelo sinal previsto " $\hat{x}$ ", mas o erro de quantização é um número real muito pequeno, no caso geral (como se verá mais adiante), portanto, o produto desse erro pelo sinal previsto resultará ser pequeno.

Observa-se na Fig.II.1 que o ruído de quantização " ϵ_q " não é acumulativo no decodificador, ou na malha de realimentação do codificador, uma vez que o quantizador está inserido dentro de uma malha fechada, permitindo a correção dos erros entre o valor atual " x " e o valor previsto " $\hat{x}$ ".

O sinal recomposto " x' " na entrada do preditor é igual ao sinal de entrada afetado pelo produto do erro de quantização vezes o sinal previsto.

A idéia é que a potência média de ruído " $\overline{(\epsilon_q \hat{x})^2}$ " seja pequena comparada com a potência média do sinal previsto $\overline{\hat{x}^2}$; neste caso em média os sinais " x " e " x' " serão muito parecidos.

No receptor o sinal recebido é decodificado, obtendo-se na saída o sinal " q_q " como é mostrado na Fig.II.2. Esse sinal é multiplicado pelo sinal previsto " $\hat{x}$ ", obtendo-se o sinal original somado ao ruído " $\epsilon_q \hat{x}$ ". É esperado que o erro de quantização seja muito pequeno, e isso dependerá do quantizador usado. O quantizador tenderá a ser mais eficiente quando o preditor determinar corretamente o sinal previsto. Espera-se que devido ao fato de se trabalhar com números reais em torno de "1", os passos de quantização sejam muito próximos; assim o erro " ϵ_q " será muito pequeno e isso terá como consequência, um ruído também pequeno.

Na expressão do algoritmo de predição considera-se que " x " e " x' " são muito próximos, podendo-se desconsiderar o ruído de quantização. Mas a relação sinal-ruído deve ter um nível

aceitável a fim de preservar a qualidade subjetiva da imagem transmitida.

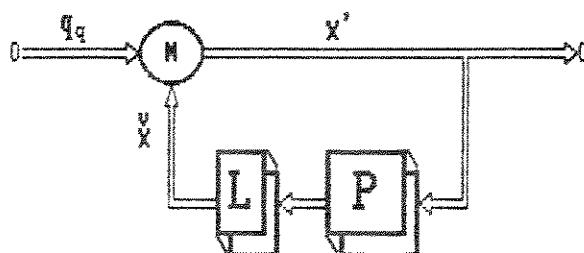


Fig.II.2 - Receptor do sistema MCPQ.

II.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS.

Foi feito em forma preliminar um estudo da distribuição do sinal quociente. O dividendo corresponde ao sinal composto de uma imagem digitalizada em 8 bits, portanto, o valor das amostras são números inteiros que podem variar, entre "0" e "255". O divisor corresponde ao sinal previsto e ele deve variar entre "1" e "255". Isso devido ao fato de que ao se realizar a divisão dos sinais deve-se evitar a divisão por zero. Como consequência, os valores possíveis que "x" e "x'" podem tomar são:

$$\text{sinal de entrada} \quad x = \sum_{k=0}^7 A_k * 2^k \quad \text{II.5}$$

$$\text{sinal previsto} \quad x = 1 + \sum_{k=1}^7 B_k * 2^k \quad \text{II.6}$$

onde: A_k, B_k = Coeficientes que podem assumir valores "0" ou "1".

Ao realizar a análise do sinal quociente vemos que existem 256 valores possíveis para o numerador e 255 valores possíveis para o denominador; assim existem 65280 valores do sinal quociente os quais encontram-se distribuídos em um universo de 39640 valores possíveis diferentes de números reais, tudo isso sem considerar o número das repetições.

O estudo da distribuição do sinal quociente permite observar as seguintes conclusões dadas a seguir.

Existem 4 subconjuntos de números reais perfeitamente identificáveis os quais contêm exatamente 9910 valores diferentes possíveis. Esses subconjuntos são de menor a maior, $[0,0.5)$; $[0.5,1)$; $[1,2)$; $[2,255]$. O comportamento das distribuições dos quocientes segue uma determinada estrutura no que se refere à frequência dos valores dentro de cada intervalo (Fig.II.3). Deve-se observar que de fato os números reais $1/2$, $2/4$, $3/6$... etc, são os mesmos.

Outro fato de interesse, é que dentro desses subconjuntos, os valores seguem uma determinada distribuição sendo esta linear entre $[0,0.5)$ e $[0.5,1)$ e uma distribuição logarítmica com base 2 entre $[1,2)$ e $[2,255]$.

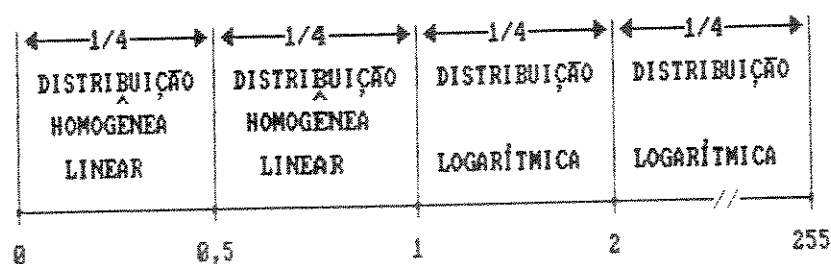


Fig.II.3 - Distribuição das amostras.

II.3 - TAXA DE BITS

Como foi dito anteriormente a taxa " R_L " de bits máxima do sistema de 3ª hierarquia do MCP é de 34,388 Mbit/s. A fim de atingir esse objetivo, propõe-se neste trabalho, como recurso principal, vários preditores e quantizadores para o esquema MCPQ já apresentado. Para determinar a taxa de bits máxima para transmissão da imagem de TV no sistema PAL-M é necessário considerar além disso, a informação de controle da imagem. Dessa forma no canal só se dispõe de uma taxa meta " R_L " de 33,797 Mbit/s para o sinal de vídeo ativo digitalizado [2.1]. Logo, da equação da taxa de bits apresentada no Cap .I e fazendo algumas considerações, obtém-se, para o número médio de bits por amostra " R_a ", a seguinte condição:

$$R_a = \frac{R_L}{(1-\alpha)f_a} \quad \text{II.7}$$

$$\alpha = \frac{T_{APH}}{T_H} \cong \frac{10,8}{63,5} \cong 0,17 \quad \text{II.8}$$

onde f_a = frequência de amostragem,

T_{APH} = intervalo de apagamento horizontal = 10,8 μ s

T_H = período de uma linha horizontal = 63,5 μ s

Os parâmetros anteriores são padronizados pela CCIR para o sistema PAL-M . Em nosso caso de $f_a = (8/3)f_{sc}$ o número médio de bits permitido para não ultrapassar a taxa de 34 Mbit/s fica:

$$R_a = 4,3 \text{ bit/amostra} \quad \text{II.9}$$

Neste trabalho o enfoque é dado na transmissão do sinal

de vídeo ativo do sistema PAL-M de TV comercial. Assim sendo, o estudo das características dos sinais de controle da informação que estão contidas na imagem não é realizado neste trabalho.

II.4 - UMA PROPOSTA DE QUANTIZAÇÃO

Como já foi dito, o quantizador proposto neste trabalho utiliza palavras-código de três comprimentos diferentes. Tais comprimentos que são denominados "k", "m" e "n" conforme a palavra-código tenha "k", "m" e "n" bits, respectivamente. Além disso, supõe-se que :

$$k > m > n \geq 0$$

II.10

onde "k", "m" e "n" são inteiros positivos.

Devido ao fato de se ter uma distribuição de números reais que vai de "0" até "255", e a ocorrência mais provável sendo "1", no caso de preditores perfeitos em regiões uniformes, então as regiões de quantização deverão ficar em torno de "1", e o quantizador deverá ser não-uniforme.

Assim as características do quantizador ficam divididas em três regiões, sendo que a mais interna corresponderá aos quocientes mais próximos de "1" e a essa região serão associadas as palavras-código de menor comprimento (no caso "n"). Na região do meio associam-se palavras-código de comprimento "m" e na região mais externa, que corresponde ao caso em que o numerador e denominador do parâmetro quociente sejam muito diferentes, associam-se palavras-código de maior comprimento "k". Na Fig.II.5 mostra-se o quantizador onde "q" é o quociente antes da

quantização sendo que " q " é o nível de quantização.

II.4.1 - Quantizador não uniforme para o sistema MCPQ

Conforme foi visto anteriormente o quantizador deve atuar sobre o quociente da amostra atual " x " e do seu valor previsto " $\hat{x}$ ". Cada uma das amostras " x " está digitalizada em 8 bits/amostra uniformes. A relação sinal/ruído que se pode esperar na saída do sistema MCPQ é menor do que aquela correspondente à conversão A/D de 8 bits, partindo-se de um sinal de fonte analógico. Para este trabalho considera-se ausente o ruído no sinal digitalizado em 8 bits/amostra da SMPTE. A intenção de usar o sistema MCPQ é a redução da taxa de bits de transmissão conforme dito anteriormente. Inicialmente deve-se observar que a entropia do sinal quociente quantizado muda com o tipo de preditor e o tipo de quantizador usados internamente ao sistema MCPQ, gerando assim diversas opções de implementação. A entropia depende da estatística do sinal quociente (número de vezes que aparece cada valor quantizado) e ela será tanto menor quanto mais concentrada for essa distribuição, ou seja, quanto menor fôr a quantidade de valores de uma dada distribuição, maior será a ocorrência de cada um desses valores.

Conforme foi dito no Cap.I a taxa mínima de bits é no melhor dos casos, igual à entropia do sinal quociente quantizado, vezes a frequência da amostragem. Nós estamos interessados na saída do quantizador, onde a taxa de bits tem que atingir o valor desejado. Assim, cada nível real deve ser associado a uma palavra de comprimento determinado que em média atinja essa taxa de bits.

A opção mais simples para " Q " é simplesmente um

quantizador não uniforme de 2^K níveis. Devido à distribuição das amostras, "k" deve ser um número inteiro menor do que 8, pois deseja-se reduzir a taxa de bits por amostra. Sabe-se que as amostras quocientes ficam distribuídas no intervalo de "0" a "255", segundo o que foi dito na primeira parte deste capítulo. Se o preditor é eficiente as amostras ficam distribuídas em torno de "1" e em uma pequena quantidade de possibilidades, sendo que cada valor se repetirá um grande número de vezes; caso contrário a distribuição das amostras fica espalhada em uma grande quantidade de possibilidades e cada uma delas ocorrerá poucas vezes, (frequência pequena) o que provocaria um aumento da entropia. Uma análise da distribuição das amostras, mostra a necessidade do quantizador ser não-uniforme. A configuração usada para o quantizador não-uniforme será aqui denominada quantizador com palavras "k-m-n" no sentido de que são usadas palavras-código com "k" bits, "m" bits e "n" bits onde "k", "m" e "n" são inteiros e tais que $k > m \geq n$. Cada uma dessas palavras código está associada a um nível de quantização de forma biunívoca [2.1]. Essas palavras-código são fornecidas pelo conversor de códigos "CC" da Fig. II.1, onde a entrada é composta de os valores correspondentes aos níveis do quantizador "Q".

No presente estudo, a complexidade adicional resultante do uso de palavras-código com três comprimentos variáveis, visa investigar o comportamento do sistema em alguns casos particulares.

Na saída do quantizador proposto podem-se ter três tipos de palavras-código que se diferenciam pelo comprimento. Esse comprimento pode ser de "k" bits, "m" bits ou "n" bits. No propósito de reduzir a taxa de bits, associa-se aos quocientes

mais próximos de "1", supondo-se que sejam os mais frequentes, as palavras de menor comprimento de acordo com a teoria da informação. Logo, os quocientes menos frequentes são associados aos códigos de maior comprimento. Supondo-se um preditor razoavelmente eficiente, onde o valor previsto seja igual ou muito parecido ao valor do sinal de entrada, pode-se afirmar que os quocientes em torno de "1" são os que ocorrem com maior frequência.

Também é sabido que o olho humano é mais sensível a erros nas regiões uniformes, ou de pequenas variações, do que nas regiões com bordas, ou de grandes variações [2.3]. Assim, usando-se um quantizador com menos de 2^8 níveis de quantização, as formas de distribuição mostradas na Fig. II.3 sugerem que a lei de quantização deva ser não-uniforme e não-simétrica em torno de "1" como se mostra na Fig. II.4, sendo os passos de quantização de pequeno comprimento em torno de "1" e de comprimento crescente conforme se afasta de "1". Essa distribuição tem como limites "0" e "255".

Nos itens seguintes, analisam-se então alguns aspectos relacionados com a lei de quantização, devendo-se ainda frisar que este estudo inicial se restringe a quantizadores não adaptativos.

Na Fig. II.5 mostram-se as diversas regiões do quantizador nas quais pode-se observar que os limites são números reais não-simétricos em torno de "1", tanto na abscissa, que representa a entrada quociente, quanto na ordenada, que representa a saída quantizada. Observa-se também que existe uma compressão das áreas no lado esquerdo e no lado inferior da origem. Isso é devido ao fato de que à esquerda e para baixo

encontram-se os números reais entre "0" e "1" e à direita e para cima encontram-se os números reais de "1" a "255". Os limites " P_x ", " P'_x ", " Q_{qx} ", " Q'_{qx} " delimitam as regiões citadas e caracterizam a curva de quantização. Neste caso "x" pode tomar valores "n", "m", ou "k".

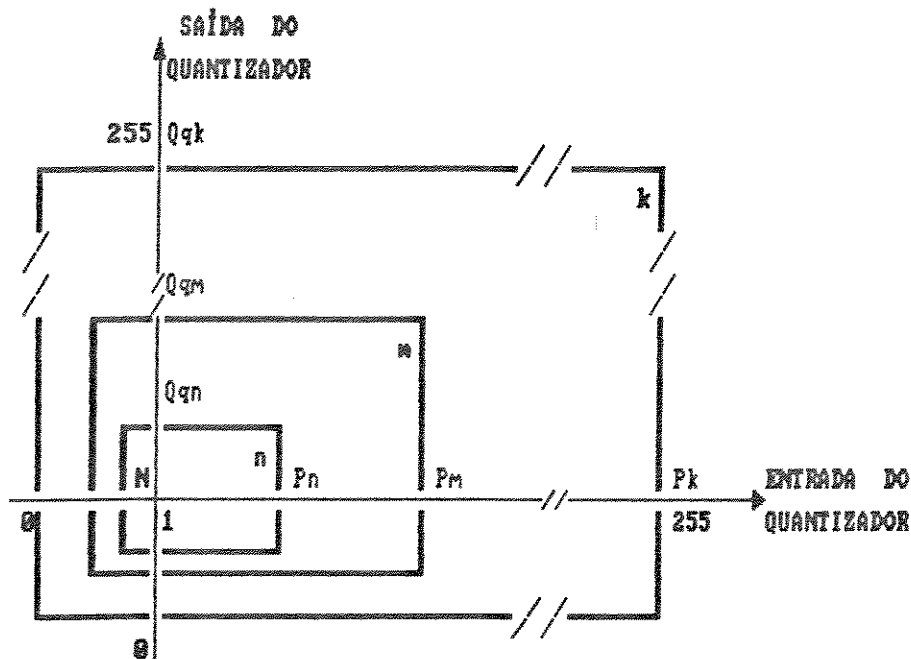


Fig.II.4 - Regiões associadas ao quantizador.

Por outro lado, a cada valor real na saída do quantizador, deve-se associar uma palavra-código, segundo as regras pré estabelecidas:

- a) Não existem palavras-código com todos os bits iguais a zero. Assim evita-se ambigüidade na decodificação.

b) As palavras-código com comprimento "m" possuem sempre "n" bits iguais a zero no início da palavra. As palavras-código de comprimento "k" possuem sempre "m" bits iguais a zero no início da palavra.

Das condições a) e b) pode-se constatar que:

1) As palavras de "m" bits possuem no máximo "m-1" zeros e, as palavras de "k" bits possuem no máximo "k-1" zeros.

2) Existem $(2^n - 1)$ palavras de comprimento "n", $(2^{m-n} - 1)$ palavras de comprimento "m" e $(2^{k-m} - 1)$ palavras de comprimento "k". Logo o número total " N_q " de níveis no quantizador é dado por:

$$N_q = 2^n + 2^{m-n} + 2^{k-m} - 3 \quad \text{II.11.}$$

3) Uma sequência de palavras-código é biunivocamente decodificada contando o número de zeros, e tendo em mente que existem apenas três comprimentos "k", "m" e "n".

Consideremos agora, que os comprimentos das palavras são dados por:

$$k = N_1; \quad m = N_2; \quad n = N_3, \quad \text{II.12}$$

e consideremos uma frequência de ocorrência P_i para cada comprimento da palavra N_i ($i=1,2,3$) na saída do quantizador do sistema MCPQ. Para poder atingir o número médio mínimo de bits para transmissão, em nosso caso, deve-se ter :

$$\sum_{i=1}^3 P_i N_i < R_a$$

II.13

onde " R_a " é a taxa de bits máxima permitida calculada usando II.8.

Além disso é necessário que a frequência de ocorrência total deva ser:

$$\sum_{i=1}^3 P_i = 1$$

II.14

Logo a palavra de menor comprimento deve ser menor que 4, a fim de atingir $R_a = 4.3$ bit/amostra.

Se a entropia " H_q " do sinal quantizado em bits por amostra é maior do que " R_a ", espera-se uma degradação adicional na relação sinal/ruído além daquela já introduzida no processo de conversão analógica-digital do sinal de vídeo. Essa situação acontece quando dois ou mais valores diferentes do sinal quociente são levados a um mesmo nível de quantização. É importante enfatizar que a cada nível de quantização corresponde apenas a uma e somente a uma palavra-código.

II.4.2 - Leis de quantização

Como pode ser observado no quantizador escolhido, três comprimentos " k ", " m ", e " n ", determinam o número de níveis de quantização dado pela equação II.11, e formam 3 regiões que, devem conter todos os valores do sinal antes e após a quantização como foi mostrado na Fig.II.4. Dessa forma existe um grande número de leis que podem ser usadas. Porém, neste trabalho deu-se

ênfase àquelas leis que são menos grosseiras em torno da origem "1", e mais grosseiras à medida que os quocientes são muito maiores ou muito menores que "1". Isso porque haverá uma maior concentração dos valores quocientes em torno de "1", e portanto uma maior quantidade de palavras de comprimento menor, tendo como efeito uma diminuição da taxa de bits de transmissão.

Denominando os limiares de decisão do sinal quociente maiores que "1" como " $Aq_d(i)$ ", e os limiares de decisão menores que "1" como " $Aq_o(i)$ ", $i = 1, 2, 3, \dots$ mostrados na Fig.II.5, pode-se observar que tais limiares ficam distribuídos assimetricamente em torno da origem "1".

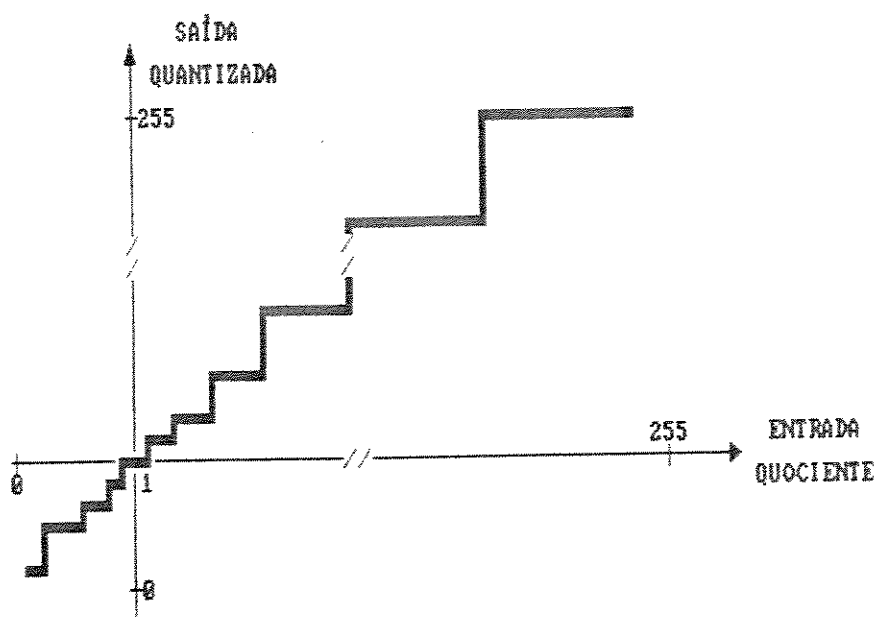


Fig.II.5 - Lei de quantização.

Os valores dos níveis do sinal quociente quantizado de saída foram escolhidos neste trabalho como sendo a média entre dois limiares sucessivos, tanto para valores maiores, quanto menores que "1", isto é :

$$Sq_o(i) = \frac{Aq_d(i+1) + Aq_d(i)}{2} \quad \text{II.15}$$

$$Sq_b(i) = \frac{Aq_a(i+1) + Aq_a(i)}{2}$$

II.16

onde o sub-índice "a" indica "acima" e "b" indica "abaixo" de "1" [2.4].

II.5 - PREDITORES

Os preditores deste trabalho aproveitam a correlação entre amostras vizinhas das linhas atuais e da primeira linha prévia. Na forma geral, os preditores usados neste trabalho podem ser então unidimensionais ou bidimensionais [2.1].

A escolha do par "preditor-quantizador" está muito vinculada com a entropia do sinal quociente transmitido, sendo desejável a menor entropia possível. Essa entropia depende da probabilidade de ocorrência do sinal quociente, e será tanto menor quanto mais concentrada for essa distribuição. Dessa forma, os preditores devem prever corretamente a próxima amostra em áreas uniformes sendo esperado, portanto, uma concentração dos valores do sinal quociente em torno de "1", que será tanto maior, quanto melhor for a previsão. Assim dependendo do quantizador adotado, a entropia fica dependendo da porcentagem de região uniforme, ou quase uniforme, presente na cena.

Para se fazer a previsão correta, é necessário utilizar algum tipo de artifício quando se pretende explorar a correlação existente entre as amostras das linhas anteriores adjacentes de um mesmo campo. Um destes artifícios, o qual é utilizado neste trabalho, consiste em se fixar o instante inicial de amostragem " t_0 " em um valor predeterminado e conhecido com relação à origem do tempo escolhido para as subportadoras de cor. Isto é, fixar a

fase inicial de amostragem " t_0 " em relação à origem de tempo.

Para uma frequência de amostragem de $(8/3)f_{sc}$, e com " t_0 " prefixado, os instantes de amostragem coincidem de forma periódica e sistemática, com os instantes de passagem pelo zero da onda " $\cos 2\pi f_{sc} t$ ".

Supondo que " T_a " seja o período de amostragem, e que os instantes de amostragem sejam dados por " t_q ", tem-se:

$$t_q = t_0 + qT_a \quad \text{II.17}$$

onde " t_0 " é o instante inicial de amostragem e " q " um número inteiro, associado à q -ésima amostra, isto é:

$$0 \leq t_0 \leq T_a \quad \text{II.18}$$

$$q = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Além disso, tem-se:

$$T_a = 1/f_a. \quad \text{II.19}$$

Suponha além disso que as amostras " q_1 " e " q_0 " se encontram nas linhas prévia e atual, respectivamente. A predição em regiões uniformes requer que os valores dos módulos dos sinais de crominância dessas duas amostras sejam iguais. Deve-se notar que devido à uniformidade da região, as partes de luminância dessa duas amostras são iguais. Contudo, as partes de crominância não são necessariamente iguais, ainda que essa região seja uniforme, pois o sinal de crominância é constituído por dois sinais diferença de cor, modulados em quadratura, sendo que os

sinais diferença sem modulação é que são constantes. Assim, tem-se:

$$|E'_c(t_{q1})| = |E'_c(t_{q0})| \quad \text{II.20}$$

Da equação I.5 obtemos:

$$E'_c(t) = R'(t) \sin [w_{sc} t + m(t) \beta(t)] \quad \text{II.21}$$

onde:

$$R'(t) = \sqrt{E'^2_u(t) + E'^2_v(t)} \quad \text{II.22}$$

$$\beta(t) = \arctan [E'_v(t)/E'_u(t)]$$

Além disso, tem-se:

$$E'_u(t_{q1}) = E'_u(t_{q0}) \quad \text{II.23}$$

$$E'_v(t_{q1}) = E'_v(t_{q0}) \quad \text{II.24}$$

Dessas equações II.20 a II.24 e sabendo que:

$$m(t_{q1}) = -m(t_{q0}) = -m_0 \quad \text{II.25}$$

onde $m_0 = \pm 1$, tem-se da equação II.17:

$$q_0 = (t_{q0} - t_0) f_a \quad \text{II.26}$$

$$q_1 = (t_{q1} - t_0) f_a \quad \text{II.27}$$

$$q_1 + q_0 = [k\pi - 2\rho_0] \frac{f_a}{\omega_{sc}} \quad \text{II.28}$$

$$q_1 - q_0 = [k\pi + 2m_0\beta_0] \frac{f_a}{\omega_{sc}} \quad \text{II.29}$$

onde $k = 0 \pm 1 \pm 2 \dots$, e ρ_0 é a fase inicial de amostragem dada por

$$\rho_0 = \omega_{sc} t_0 \quad \text{II.30}$$

O nosso interesse é manter constante a frequência de amostragem, independente do que aconteça na região considerada. A equação II.28 expressa uma dependência de " f_a " com a fase inicial de amostragem " t_0 ". Logo, para o aproveitamento das amostras na linha prévia é necessário conhecer esta fase inicial, isto é, amarrar os instantes de amostragem em relação à subportadora de cor, fixando a fase inicial " t_0 " em valores predeterminados, ou seja, com " t_0 " constante, a amostragem será uniforme e portanto " f_a " será constante.

II.5.1 - Amostragem com TAF para $f_a = (8/3) f_{sc}$.

O emprego da técnica de amarração de fase (TAF) é um recurso eficiente para fixar a fase inicial e assim manter a frequência de amostragem fixa. Usando a TAF é possível determinar a fase do cosseno em cada uma das amostras, e portanto, se a região for uniforme é possível determinar o valor da amostra naquele instante.

Considerando uma onda " $\cos \omega_{sc} t$ " como mostra a Fig.II.6 nota-se que existem zeros (a onda passa sobre a amostra de valor

nulo), com derivadas positivas e negativas. Quando os zeros ocorrem em instantes nos quais a derivada da onda " $\cos \omega_{sc} t$ " é positiva ("0↑" indica zero na subida), os valores das amostras sucessivas, podem ser considerados como tendo o mesmo sinal algébrico até que a onda cosseno passe por um zero na descida ("0↓") ou de derivada negativa. Os valores das amostras que seguem a evolução da onda mudam de sinal até que novamente a onda passe por uma amostra onde o zero tem derivada positiva, repetindo-se novamente o ciclo. Dessa forma as fases das amostras ficam perfeitamente identificáveis para se fazer a predição.

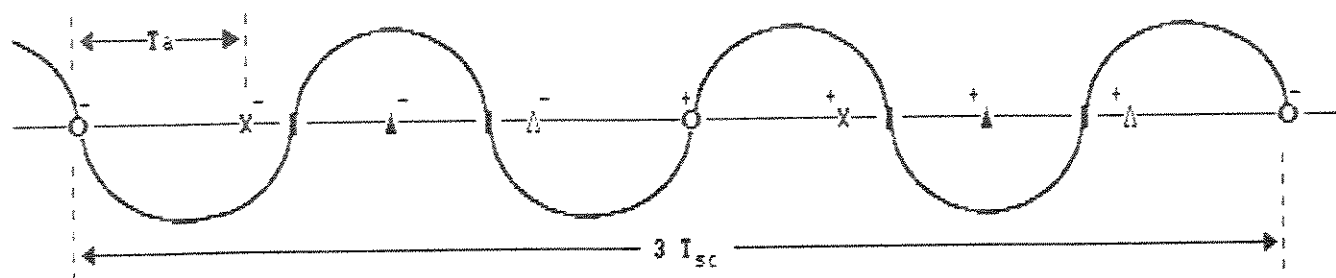


Fig.II.6 - Mosaico de uma linha considerando a fase das amostras em relação ao cruzamento de zero da subportadora " $\cos \omega_{sc} t$ ".

Observando-se a Fig.II.6 e sabendo-se que $f_a = (8/3)f_{sc}$ então $3T_{sc} = 8T_a$, ou seja em cada 3 períodos " T_{sc} " existem 8 períodos " T_a ". Deve-se notar que dentro dos intervalos " T_{sc} " ainda que as amostras estejam dentro de uma região uniforme, o valor delas muda por causa da mudança de fase da subportadora de cor.

Por outro lado, levando-se em conta a frequência escolhida, alguns fatos de interesse são citados a seguir. São eles:

- 1) A quantidade de amostras por linhas é exatamente de 606, conforme mencionado no Cap.I.
- 2) As amostras estão alinhadas na vertical.
- 3) Existem 75,75 períodos " T_{sc} " em cada linha.
- 4) Devido ao chaveamento PAL-M o sinal algébrico do cosseno varia de linha para linha.
- 5) As amostras ficam distribuídas de tal forma que a cada quatro amostras, repetem-se amostras de mesmo módulo porém com uma defasagem de 180° . Este fato permite que o número de algoritmos necessários para a formação dos preditores possa ser diminuído de 8 para 4 algoritmos diferentes no caso geral.

Deve-se porém ressaltar que o fato de se fazer a previsão usando a linha atual e a linha anterior e sabendo-se que as distâncias entre as amostras envolvidas na predição são pequenas, existe a possibilidade de predizer a amostra atual de maneira eficiente ainda que a área não seja uniforme.

A Fig.II.7 mostra parte de 4 linhas consecutivas de um quadro, considerando a fase das amostras, o sinal " $\cos \omega_{sc} t$ ", o sinal " $\sin \omega_{sc} t$ " e o chaveamento PAL-M de linha para linha.

Seja então a amostra num cruzamento de zero associada a um tempo " t_{OH} " como mostra a Fig.II.8. Assim os tempos associados a uma amostra na mesma linha e na linha anterior na vertical possuem uma diferença de um período de linha " T_H ". Dessa forma, tem-se :

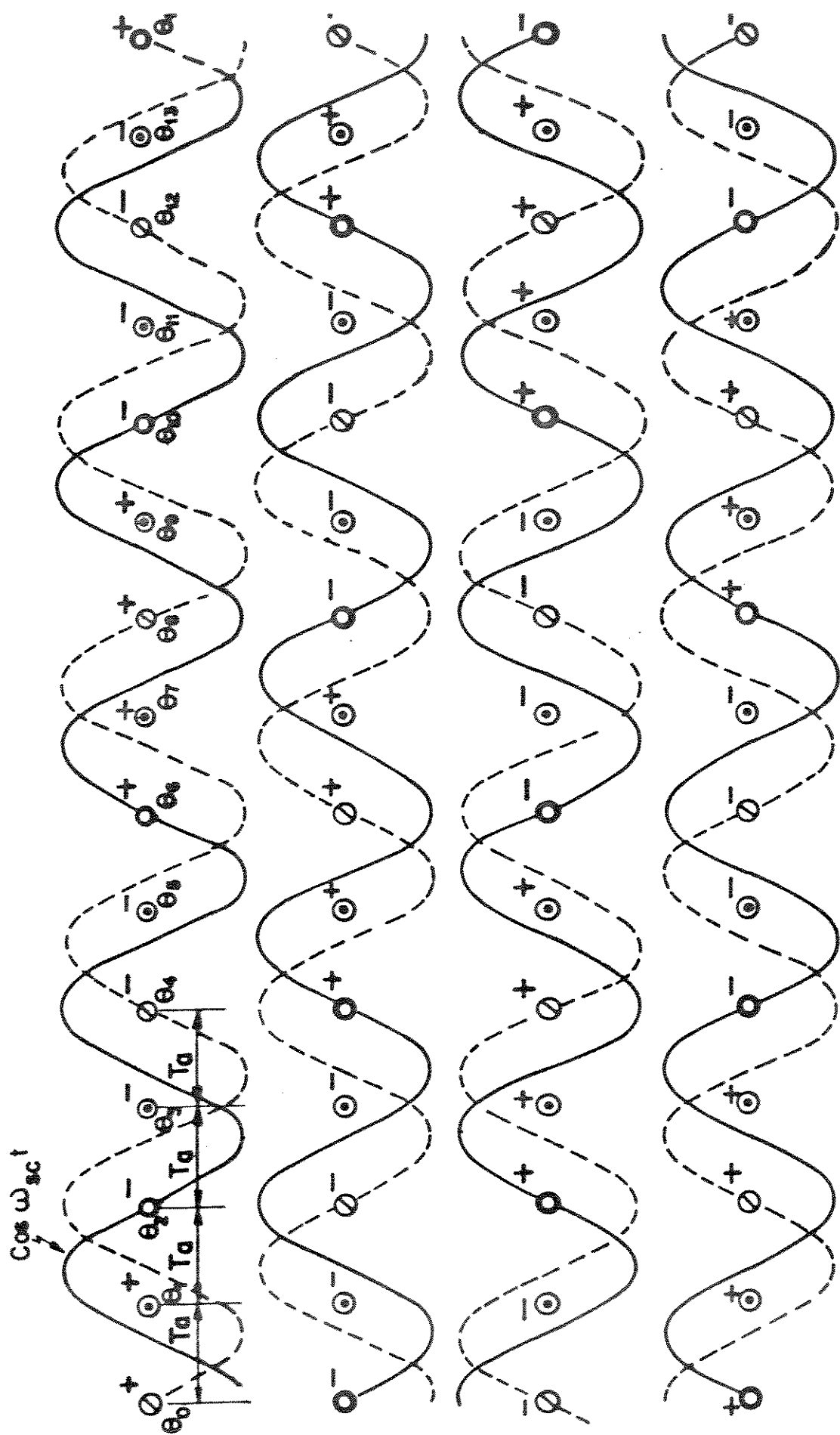


Fig. II.7 - Moscóico de 4 linhas de um quadro considerando-se chaveamento PAL.

$$t_{1H} = t_{0H} - T_H$$

II.31

onde $T_H = 606 T_a$.

Se consideramos uma região de cor uniforme contendo as amostras " $x_{i,j}$ ", " $x_{i,j+1}$ ", então a equação do sinal composto, " E'_M " para amostra " $x_{i,j+1}$ " vale:

$$E'_M(t_{1H}) = E'_Y(t_{1H}) + E'_U \sin \omega_{ec} t_{1H} + m(t_{1H}) E'_U \cos \omega_{ec} t_{1H} \quad \text{II.32}$$

Uma vez que a amostra encontra-se na linha anterior, tem-se :

$$m(t_{1H}) = -m(t_{0H})$$

Associando o valor de sinal composto " E'_M " à amostra atual " $x_{i,j}$ " no tempo considerado " t_{0H} " pode-se escrever:

$$x_{i,j} = E'_M(t_{0H}) \quad \text{II.33}$$

Assim é possível determinar o valor do sinal composto de qualquer amostra, uma vez que elas encontram-se perfeitamente definidas no tempo com respeito à amostra de referência " $x_{i,j}$ ".

No caso da mesma linha, tem-se:

$$x_{i+k,j} = E'_M(t_{0H} - kT_a) \quad \text{II.34}$$

com " k " inteiro positivo. Para qualquer amostra da linha anterior, tem-se :

$$x_{i+k,j+1} = E'_M [t_{OH} - (k - K)T_a]$$

II.35

com "k" inteiro e $K = 608$.

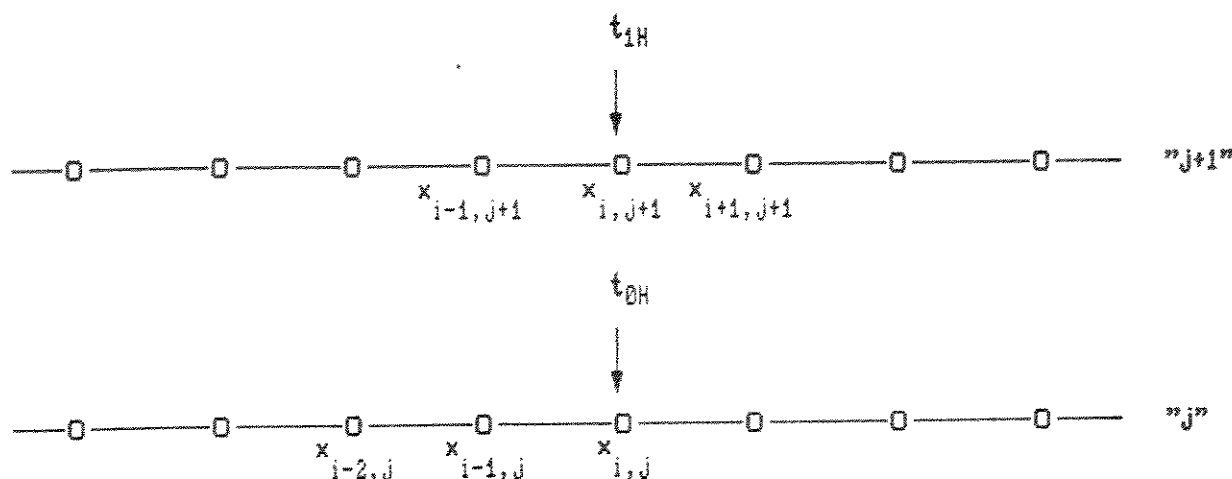


Fig.II.8 - Mosaico com tempo associado à amostra atual.

Supondo agora uma variação lenta e linear da cor contida na imagem, ou seja, a uma variação de " E'_y ", " E'_u " e " E'_v ", com coeficientes de variação " K_y ", " K_u " e " K_v " reais e constantes dentro de uma linha podemos obter a partir da equação II.34, na linha "j" :

$$\begin{aligned} x_{i+k,j} = & E'_y(t_{OH})K_y k T_a + [E'_u(t_{OH}) - K_u k T_a] \text{sen} \omega_{sc}(t_{OH} - k T_a) + \\ & + m(t_{OH}) [E'_v(t_{OH}) - K_v k T_a] \text{cos} \omega_{sc}(t_{OH} - k T_a) \end{aligned} \quad \text{II.36}$$

Para se fazer a predição deve-se considerar a defasagem que as amostras anteriores têm com respeito à amostra atual. Neste trabalho, consideram-se que 3 amostras são suficientes para

se fazer a predição conforme mostrou trabalho anterior [2.1]. Outro fato muito importante, é que o efeito das distâncias entre as amostras envolvidas para fazer a predição, deve ser considerado, uma vez que os preditores são eficientes em regiões uniformes ou quase uniformes. Se as distâncias são pequenas então pode-se ter um bom desempenho mesmo em pequenas regiões uniformes.

A amostra a ser predita pode ser escrita em função das amostras anteriores como:

$$x_{i,j} = \sum_{k=1}^7 A_k x_{i+k,j} + \sum_{k=2}^7 B_k x_{i+k,j+1} \quad \text{II.37}$$

onde " A_k " e " B_k " são os coeficientes das amostras consideradas na predição. Na predição podem ser consideradas 7 amostras anteriores na mesma linha e 10 amostras na linha anterior. Dessa forma o número de possibilidades de escolha das amostras para se realizar a predição é suficientemente grande mesmo usando-se apenas amostras vizinhas e próximas da amostra atual.

Nos testes usaram-se então 4 algoritmos de predição chaveados de acordo com a fase do sinal das amostras a serem preditas.

A Fig.II.9 mostra a enumeração das amostras ressaltando-se a necessidade de apenas 4 algoritmos no caso mais geral e não de 8.

Denominando os preditores chaveados, de acordo com a amostra a predizer, como " $x_{i+z,j}$ " ($z=0,1,2,3$), foi possível definir alguns preditores utilizados neste trabalho para a realização das simulações.

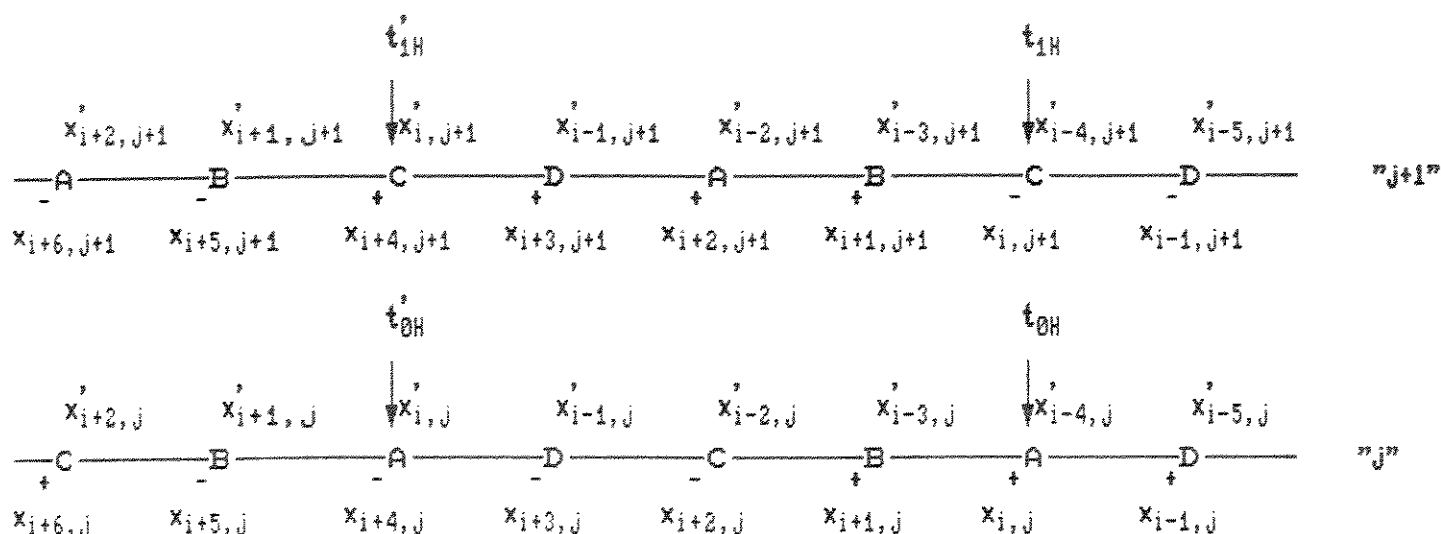


Fig.II.9 - Mosaico das amostras para $f_a = (8/3)f_{sc}$, θ_a do cos.

Na Tab.II.1 mostram-se os preditores chaveados que são utilizados.

Usando-se os algoritmos de predição dados na Tab.II.1, realizaram-se algumas combinações dos mesmos, na busca de uma boa predição. Neste trabalho escolheram-se os seguintes preditores chaveados como mostra a Tab.II.2.

II.6 - MELHORAMENTO DO SISTEMA MCPQ (MCPQ-MD)

O comportamento do sistema MCPQ pode ser melhorado introduzindo-se uma modificação na forma de realização do sinal quociente. Para tanto, o sinal de entrada é dividido pela média entre o sinal de entrada e o sinal previsto conforme é mostrado na Fig.II.10, produzindo uma diminuição da entropia do sinal quociente.

8010	-	$x_{i+2,j}$	+	$x_{i,j+1}$	+	$x_{i+2,j+1}$	$z = 0$ $\sum x_{i,j}$	II. 38
8011		$x_{i+1,j}$	-	$x_{i+1,j+1}$	+	$x_{i+2,j+1}$		
8012		$\frac{1}{2} x_{i+1,j}$	-	$\frac{1}{2} x_{i+1,j+1}$	+	$x_{i+2,j+1}$		
8013	-	$\frac{1}{2} x_{i+3,j}$	+	$\frac{1}{2} x_{i-1,j+1}$	+	$x_{i+2,j+1}$		
8014	-	$\frac{1}{3} x_{i+4,j}$	+	$\frac{1}{3} x_{i-2,j+1}$	+	$x_{i+2,j+1}$		

8102		$x_{i+2,j}$					$z = 1$ $\sum x_{i+1,j}$	II. 39
8110		$x_{i+2,j}$	-	$x_{i,j+1}$	+	$x_{i+1,j+1}$		
8111	-	$x_{i+3,j}$	+	$x_{i-1,j+1}$	+	$x_{i+1,j+1}$		
8112		$\frac{1}{2} x_{i+2,j}$	-	$\frac{1}{2} x_{i,j+1}$	+	$x_{i+1,j+1}$		
8113		$\frac{1}{2} x_{i+3,j}$	+	$\frac{1}{2} x_{i-1,j+1}$	+	$x_{i+1,j+1}$		
8117	-	$x_{i+1,j}$	+	$x_{i-2,j+1}$	+	$x_{i+1,j+1}$		

8210		$x_{i+3,j}$	-	$x_{i-1,j+1}$	+	$x_{i,j+1}$	$z = 2$ $\sum x_{i+2,j}$	II. 40
8211		$\frac{1}{3} x_{i+4,j}$	-	$\frac{1}{3} x_{i-2,j+1}$	+	$x_{i,j+1}$		
8212		$x_{i+3,j}$	+	$x_{i+3,j+1}$	-	$x_{i+4,j+1}$		
8213		$x_{i+4,j}$	+	$x_{i+2,j+1}$	-	$x_{i+4,j+1}$		
8214		$x_{i+5,j}$	+	$x_{i+1,j+1}$	-	$x_{i+4,j+1}$		

8310		$x_{i+4,j}$	+	$x_{i+2,j+1}$	-	$x_{i+3,j+1}$	$z = 3$ $\sum x_{i+3,j}$	II. 41
8311		$x_{i+5,j}$	+	$x_{i+1,j+1}$	-	$x_{i+3,j+1}$		
8312		$x_{i+6,j}$	+	$x_{i,j+1}$	-	$x_{i+3,j+1}$		
8313	-	$2x_{i+6,j}$	+	$2x_{i+4,j+1}$	+	$x_{i+7,j+1}$		
8314		$x_{i+5,j}$	-	$x_{i+5,j+1}$	+	$x_{i+7,j+1}$		

Tab.II.1 - Algoritmos de predição [2.1].

Preditor	z = 0	z = 1	z = 2	z = 3
10	8010	8110	8210	8310
11	8011	8111	8211	8311
12	8012	8112	8212	8312
13	8013	8113	8213	8313
14	8014	8114	8214	8314
48	8010	8111	8212	8310
55	8010	8110	8212	8310
56	8010	8110	8212	8311
57	8010	8102	8213	8310

Tab.II.2 - Preditores Chaveados Utilizados no Sistema MCPQ

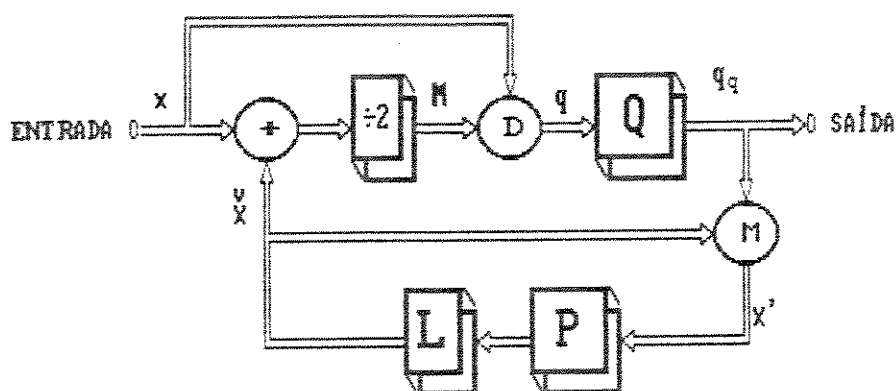


Fig.II.10 - Sistema MCPQ-M.

Neste esquema os valores das variáveis "x", " $\check{x}$ ", "M" e "x'" são números inteiros não-negativos. Têm-se:

$$M = \left[\frac{x + \check{x}}{2} + 0.5 \right] \quad \text{II.42}$$

$$q = \frac{x}{M} = \frac{2x}{x + \check{x}} \quad \text{II.43}$$

$$q_q = q + \epsilon_q \quad \text{II.44}$$

$$x' = q_q \check{x} \quad \text{II.45}$$

das equações II.43 a II.45, obtém-se:

$$x' = 2 \frac{x \check{x}}{x + \check{x}} + \epsilon_q \check{x} \quad \text{II.46}$$

De uma análise feita na equação II.46 pode-se deduzir que o produto de dois termos dividido pela soma deles será sempre menor que qualquer um dos valores considerados. Além disso duas vezes o valor anteriormente citado pode ser maior, menor ou igual que cada um dos valores. Dessa forma podemos escrever a parte " $2(x\check{x}/(x+\check{x}))$ " como sendo o valor digitalizado de entrada "x" mais um erro " ϵ_t " multiplicado pelo sinal previsto.

O erro " ϵ_t " pode ser positivo, negativo ou zero. Ele será zero no caso em que o sinal previsto " $\check{x}$ " seja igual ao sinal de entrada "x".

$$2 \frac{x \check{x}}{x + \check{x}} = x + \epsilon_t \check{x} \quad \text{II.47}$$

Substituindo II.47 em II.46 obtém-se:

$$x' = x + (\epsilon_t + \epsilon_q) \check{x} \quad \text{II.48}$$

Pode-se notar agora que o erro total do sinal recuperado "x'" é igual ao produto do sinal previsto "x̂" por um erro que contém dois termos : o erro de quantização e o erro provocado pela divisão da média. Eventualmente, esses erros podem-se anular mutuamente melhorando assim a relação sinal/ruído.

Também algumas considerações podem ser conferidas de forma imediata:

- A média "M" é mais parecida com o sinal de entrada se comparada com o caso anterior do MCPQ. Portanto, o sinal quociente ficará mais perto de "1".
- A média pode variar entre "1" e "255".
- A média pode ser maior do que, igual ou menor do que o sinal "x".

A análise da equação II.46 pode ser considerada nos seguintes casos:

Caso A - $\boxed{\hat{x} > x}$ O valor previsto "x̂" é maior do que o valor do sinal de entrada "x".

Neste caso a média entre o sinal previsto e o sinal de entrada será maior do que o sinal de entrada, mas este valor será inferior ao sinal previsto, portanto, o valor do quociente será um número menor que "1", ficando assim mais perto de "1" comparado com o caso do quociente do sistema MCPQ.

$$\hat{x} > M = \frac{x + \hat{x}}{2} > x \quad \text{e} \quad \frac{x}{\hat{x}} \leq \frac{x}{M} \leq 1 \quad \text{II.49}$$

Um dos extremos neste caso pode ser zero e isso ocorre quando a entrada "x" vale zero.

Caso B - $\boxed{\check{x} = x}$ O valor previsto " $\check{x}$ " é igual ao valor de entrada "x".

Neste caso, igual ao caso do MCPQ, o sinal quociente é "1".

Caso C - $\boxed{\check{x} < x}$ O valor previsto " $\check{x}$ " é menor do que o sinal de entrada "x".

Neste caso a média "M" será menor que o sinal de entrada "x" e portanto a divisão do sinal de entrada pela média será maior que "1".

$$M = \frac{x + \check{x}}{2} < x \quad \text{e} \quad 1 \leq \frac{x}{M} \leq \frac{x}{\check{x}} \quad \text{II.50}$$

Um outro valor extremo do sinal quociente ocorre quando o sinal de entrada é igual a 255 e o sinal previsto é igual a 1. Neste caso:

$$M = 128 \quad \text{e} \quad q = \frac{255}{128} = 1,9921875 < 2 \quad \text{II.51}$$

O extremo dado pela equação II.51 permite planejar um quantizador que considere como limite superior de variação de " $\check{x}$ " o valor "2" ao invés do valor "255", como no caso do quociente sem a média. A Fig.II.11 mostra uma forma aproximada de como ficam as distribuições nos sinais quocientes dos casos MCPQ e MCPQ-M.

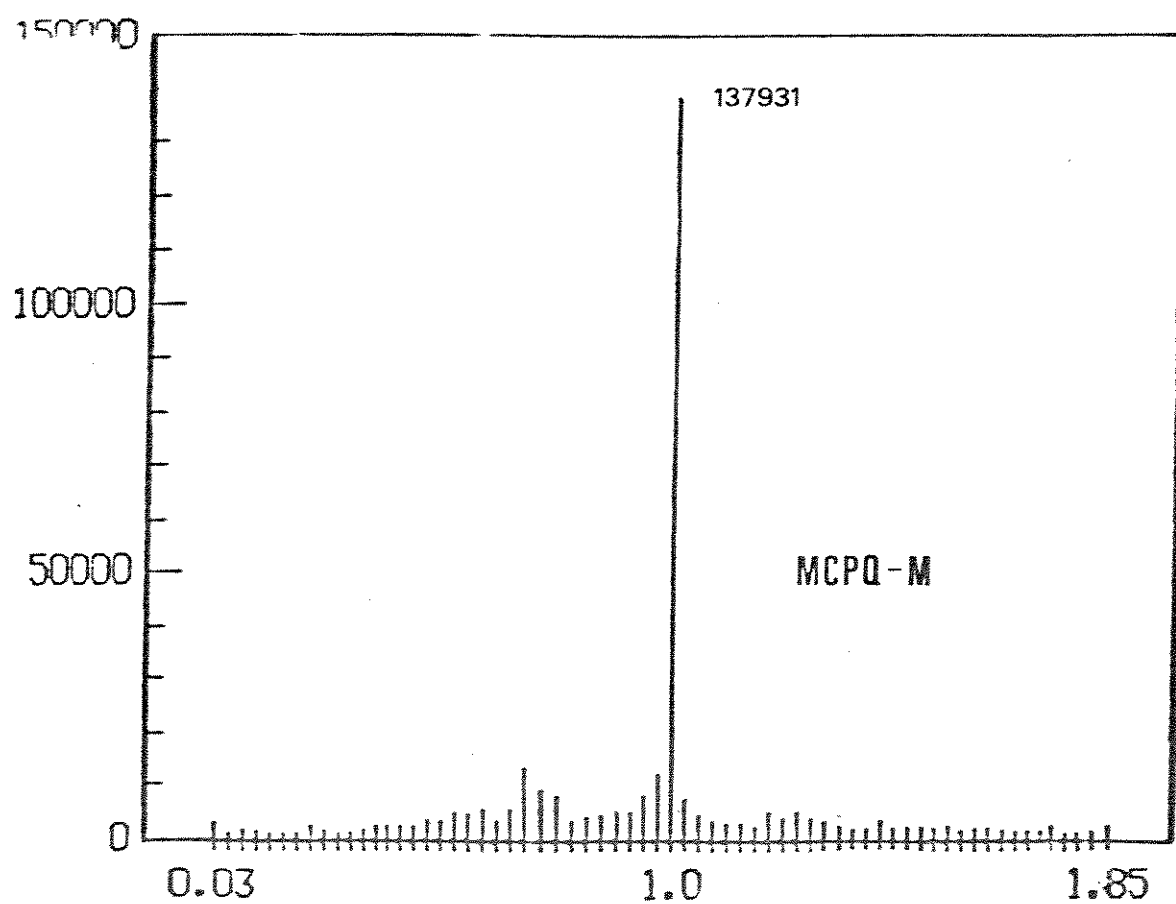
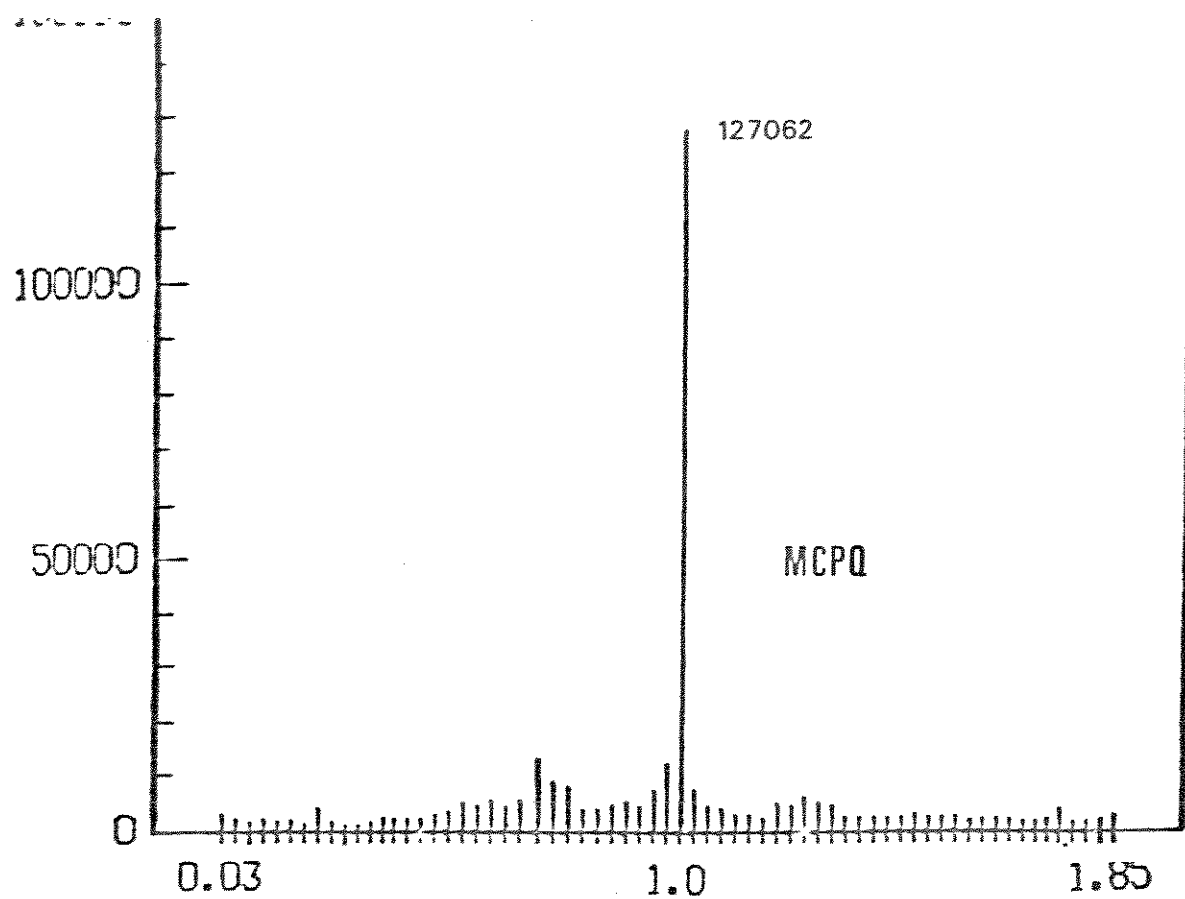


Fig.II.11. -Distribuição do sinal quociente.
43

É importante lembrar que o divisor "M" é um número inteiro (1-255). Isto quer dizer que os valores do sinal quociente no caso MCPQ-M estarão contidos dentro dos valores da distribuição do sinal quociente no caso MCPQ , em uma menor quantidade de valores e com uma maior frequência de cada um deles. Uma consequência direta desse fato é uma menor entropia do sinal quociente e também do sinal quociente quantizado.

O receptor para o caso MCPQ-M é o mesmo que aquele considerado para o caso MCPQ . Deve-se observar que o sinal recuperado localmente "x'" representa a saída no receptor.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA MCPQ

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA MCPQ

III.1 - INTRODUÇÃO

A função principal do sistema MCPQ é a extração da redundância contida em um sinal digitalizado de imagem de TV comercial. A avaliação da qualidade da imagem após a extração dessa redundância deve ser efetuada através de critérios objetivos e subjetivos. A avaliação objetiva de maior interesse neste estudo é a degradação da relação sinal/ruído quando se impõe uma taxa limite de transmissão da informação de 34 Mbit/s. A degradação está associada à perda de qualidade da imagem reproduzida, sendo que a visualização dessa perda constitui uma avaliação subjetiva do desempenho do sistema.

Visando conhecer o desempenho do sistema proposto para a redução da taxa de bits, pretende-se neste capítulo efetuar simulações com preditores e quantizadores usando como sinais de teste imagens digitalizadas da SMPTE. Com essa finalidade são elaborados diversos programas de computadores trabalhando-se essencialmente com a linguagem FORTRAN ("Formula Translation"). As imagens digitalizadas encontram-se gravadas em fitas magnéticas em versões que permitem o emprego do Supermini CYBER-180 MODEL-830 da Control-Data.

As simulações usando o computador como ferramenta de avaliação do desempenho de sistemas é uma solução cada vez mais difundidas e necessárias pois a implementação física para testes

e otimização, por exemplo neste trabalho, é impraticável e proibitivamente dispendioso.

A avaliação usando-se critérios objetivos através do emprego de imagens de teste da SPMTE considera que tais imagens são representativas das imagens normais de televisão.

Essas imagens encontram-se digitalizadas em 8 bits por amostra nas cores primárias E'_R , E'_B e E'_G .

O sinal de entrada para as simulações é o sinal composto " E'_M ". Portanto, foi preciso a realização da conversão dos sinais primários para o sinal composto PAL-M. A realização deste processo foi feita através de programa disponível RGBM [3.1].

Para a realização dos critérios subjetivos é preciso transformar de volta o sinal composto PAL-M, processado pelo sistema MCPQ para os sinais primários uma vez que o sistema de tratamento de imagens disponível aceita as componentes no formato RGB. Isso foi feito com o programa disponível MRGB [3.1].

III.2 - CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Os critérios objetivos visam fundamentalmente comparar os resultados obtidos para diferentes combinações de preditores e quantizadores quando o sistema é submetido a diversos sinais de testes. A comparação é feita através dos valores numéricos de diversos parâmetros que representam o desempenho do sistema. Os parâmetros de maior relevância são a relação sinal/ruído e a entropia do sinal quantizado.

Os critérios subjetivos são também considerados na fase intermediária a fim de se ter uma avaliação da qualidade visual da imagem que está sendo processada.

A avaliação usando critérios objetivos é efetuada empregando-se imagens-teste da SMPTE as quais são consideradas imagens representativas das imagens normais de televisão.

III.2.1 - Degradação da Relação Sinal/Ruído

Suponha que "x" seja o sinal analógico de pico de entrada e "x" e "x'" sejam os valores analógicos correspondentes após a conversão A/D e a recuperação na malha de realimentação do sistema que corresponde ao sinal recuperado no receptor.

Define-se a relação sinal/ruído para este trabalho como sendo:

$$SNX = 10 \log \frac{\overline{x^2}}{\overline{\mu^2}} \quad \text{III.1}$$

As estimativas usadas para $\overline{x^2}$ e $\overline{\mu^2}$ são dadas por :

$$\overline{x^2} = \frac{1}{N_L} \sum_{j=1}^{N_L} \frac{\sum_{i=1}^{N_a} x_{i,j}^2}{N_a} \quad \text{III.2}$$

$$\overline{\mu^2} = \frac{1}{N_L} \sum_{j=1}^{N_L} \frac{\sum_{i=1}^{N_a} (x_{i,j} - x'_{i,j})^2}{N_a} \quad \text{III.3}$$

onde " N_L " é o número de linhas do quadro e " N_a " é o número de amostras por linhas.

No caso da relação sinal/ruído de pico usa-se:

$$\overline{x^2} = L^2$$

onde "L" vale 700mV para sinal analógico e "180" para o sinal digitalizado entre os níveis "0" e "255".

III.2.2 - Referência para a Relação Sinal/Ruído.

A fim de se obter um parâmetro de comparação da degradação da relação sinal/ruído, define-se uma referência para a relação sinal/ruído. Nesse caso, faz-se uma estimativa para a imagem codificada uniformemente em 7 e 8 bits por amostra, tomando-se como referência a imagem digitalizada em 8 bits/amostra. Como o sinal analógico original foi digitalizado, supõe-se que no processo de digitalização não haja perda de informação. Assim considera-se que a imagem digitalizada em 8 bits/amostra é uma fonte de dados isenta de distorções.

Neste trabalho pretende-se usar a relação com 8 bits/amostra denominado " SN_8 " como referência. A Tab.III.1 mostra os valores calculados para algumas imagens da SMPTE. O programa usado foi o "SNE" disponível no banco de dados do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP.

SN_8 (dB) Imagens da SMPTE							
01	02	03	04	06	08	11	15
35,4	34,6	34,3	33,5	33,1	31,4	31,5	34,2

Tab.III.1 - Relação Sinal/Ruído de Referência.

III.2.3 - Distribuições Acumuladas por Região

No processo de obtenção da taxa de bits, foi preciso determinar a frequência de ocorrência das palavras em cada uma das regiões de acordo com a lei de quantização escolhida. Além disso, dependendo da lei de quantização escolhida existem palavras com o mesmo comprimento que ficam acima de "1" e abaixo de "1". Uma determinada lei fica perfeitamente caracterizada pelo número de níveis dentro de cada região, pelos níveis de quantização e pelos limiares de decisão.

Os limiares são denominados "ALE2" e "ALD2" na região "N" e "ALE1" e "ALD1" na região "M", para valores menores e maiores que um. A região "K" fica definida quando os outros dois já estão, ou seja, todos os níveis de quantização que não estão nas regiões "N" e "M" necessariamente devem estar na região "K". Esses limiares determinam o valor do argumento da variável limite de cada região, o que permite determinar a frequência de ocorrência dos níveis por região. Os valores dos argumentos são denominadas "NKE1", "NKD1", "NME2", "NMD2" a fim de se estimar o número de níveis dentro das regiões "K", "M" e "N" como mostra a Fig.III.1.

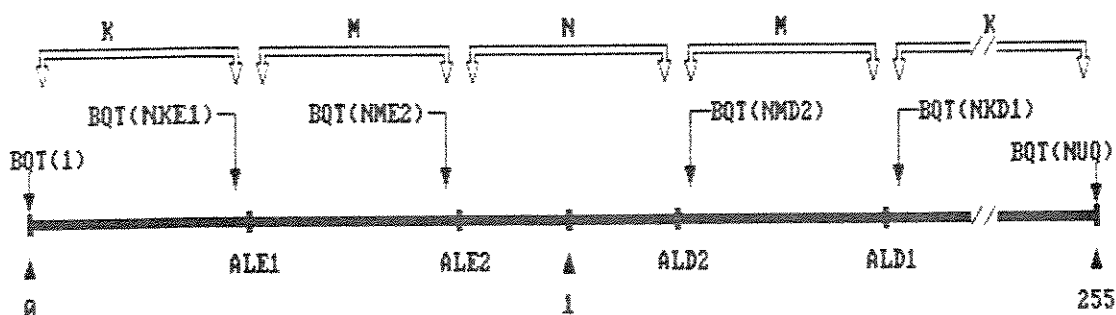


Fig.III.1 - Limiares e níveis para determinação da taxa de bits.

Nessa figura, "BQT(i)" (onde "i" é um número inteiro) são os valores dos diferentes níveis de quantização que seguem a lei utilizada. "NUQ" é o argumento do último nível.

Logo, chamando de " P_n ", " P_m " e " P_k " as frequências de ocorrência em cada um dos níveis de quantização nas regiões "N", "M" e "K" respectivamente, encontramos a frequência de palavras de igual comprimento dentro de cada uma das regiões, isto é:

$$P_N = \sum_{L=NME1+1}^{NMD2-1} P_n(L) \quad \text{III.5}$$

$$P_M = \sum_{L=NKE1+1}^{NME2} P_n(L) + \sum_{L=NMD2}^{NKD1-1} P_m(L) \quad \text{III.6}$$

$$P_K = \sum_{L=1}^{NKE1} P_k(L) + \sum_{L=NKD1}^{NQT} P_k(L) \quad \text{III.7}$$

onde "NQT" é o último valor do argumento do nível de acordo com o quantizador utilizado.

Empregando-se essas equações é possível determinar o valor do comprimento médio da palavra.

Os valores " P_n ", " P_m " e " P_k " são calculados nas simulações. Assim a taxa média de bits por amostra "RM" na saída do conversor de código é dado por:

$$RM = P_N \cdot n + P_M \cdot m + P_K \cdot k \quad \text{III.8}$$

As leis de quantização usadas foram denominadas "LEIX" onde "X" é um número que indica o tipo de quantizador usado.

Os limites das regiões na saída do quantizador são os mesmos que para a entrada do quantizador, isto é :

ALE2 = QLE2

ALD2 = QLD2

III.9

ALE1 = QLE1

ALD1 = QLD1

III.2.4 - Entropia do Sinal Quantizado HQ

Em nosso caso define-se a entropia "HQ" por

$$HQ = \sum_{j=1}^{KQT} \frac{NCj}{M} \log_2 \left[\frac{M}{NCj} \right] \quad \text{III.10}$$

onde "NCj" é a frequência dos valores nos níveis quantizados, "M" é o número total de dados processados da imagem considerada e "KQT" é o valor total de níveis de quantização.

O valor "HQ" indica o número de bits por amostra transmitidos do sinal quociente quantizado.

III.3 - SIMULAÇÕES

As simulações feitas com imagens da SMPTE, permitem uma avaliação próxima da realidade pela própria natureza das imagens usadas.

Devido à forma de realização da predição, a qual usa duas linhas do mesmo campo, precisa-se trabalhar nas simulações com pelo menos 4 linhas de imagens simultaneamente a fim de se processar uma linha de cada um dos campos que formam o quadro. Como a imagem tem apenas 512 linhas e 512 pontos em cada linha, a simulação também deve levar em conta este fato no processamento da informação contida na imagem. A Fig.III.2 mostra a convenção

adotada para a imagem onde " N_1 " e " N_2 " representam as enumerações nos campos no caso convencional de exposição do quadro na tela de um televisor. Nas simulações, a enumeração " N_2 " foi usada para as linhas de varredura, considerando no processamento as linhas ímpares para um campo e as linhas pares para outro. Indica-se também na Fig.III.2 o sinal do chaveamento PAL, " $m(t)$ ".

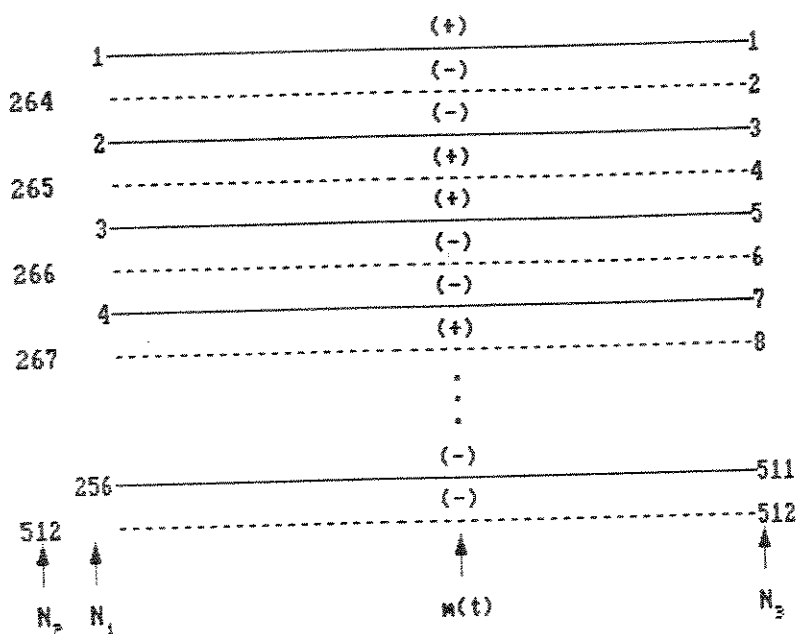


Fig.III.2 - Enumeração das linhas de varredura.

III.3.1 - Quantizador

Na realização do quantizador, os limiares foram escolhidos depois de se realizar uma análise estatística do sinal quociente para uma imagem, usando um preditor chaveado que acarrete uma baixa entropia para o sinal quociente quantizado. A partir dessa análise escolheram-se os limiares de acordo com o número de níveis de quantização usado para o quantizador. As leis

usadas neste trabalho foram de 38, 66 e 128 níveis. A Fig.III.3 mostra um quantizador de duas regiões, com as variáveis usadas para os limiares e níveis de quantização. Deve-se notar que esta figura não leva em consideração a assimetria real do quantizador. Os níveis foram escolhidos como a média entre dois limiares sucessivos [3.1].

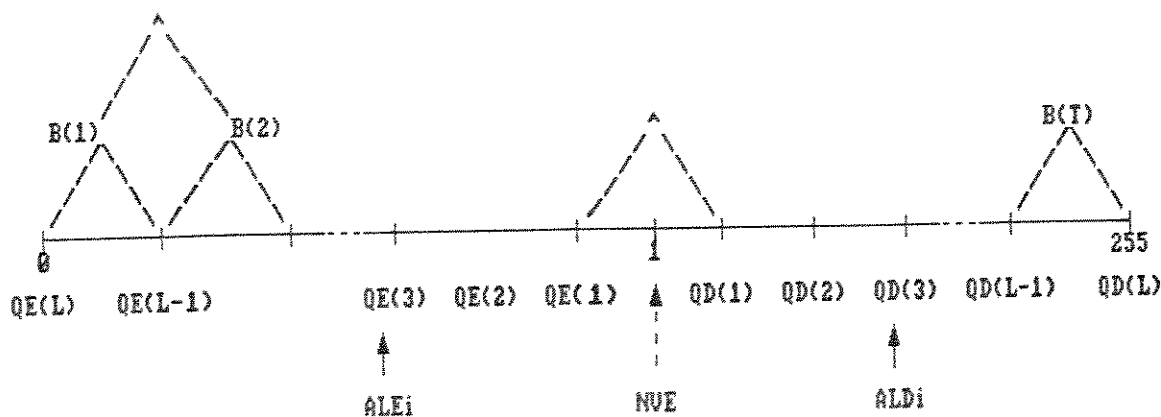


Fig.III.3 - Limiares e níveis de uma lei de quantização de duas regiões

Nessa figura tem-se que " $QE(i)$ ", " $QD(i)$ ", $i=1 \dots L$ representam os limiares do quantizador, para o lado esquerdo e direito de "1", e " $B(i)$ ", $i=1,2 \dots T$ representam os níveis de decisão do quantizador. As variáveis " ALE_i " e " ALD_i ", $i=1,2$, representam os limiares de decisão para separação das regiões "N", "M" e "K".

III.3.2 - Preditores

Na utilização dos preditores, os coeficientes das amostras " A_k " e " B_k " da linha atual e da primeira linha prévia, representados na equação II.37 estão associados com as variáveis indexadas " $AP(i)$ " e " $BP(i)$ " conforme é ilustrado na Fig.III.4.

Nessa figura, tem-se para $f_a = (8/3) f_{sc}$

$$AP(i) = A_i \quad \text{III.11}$$

$$BP(i) = B_{i-5} \quad \text{III.12}$$

com $i = \text{número inteiro positivo, } i=1,2,3,\dots$

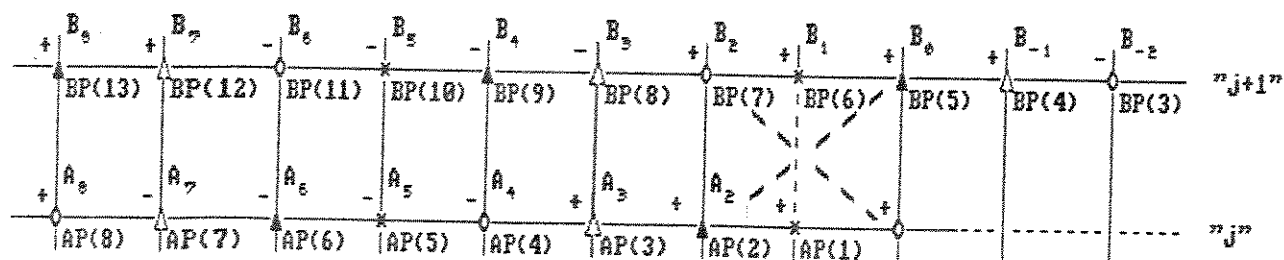


Fig.III.4 - Enumeração dos coeficientes dos preditores para $f_a = (8/3)f_{sc}$.

Uma vez que os preditores são chaveados, empregam-se nas simulações coeficientes "APz(i)", "BPz(i)" onde $z=0,1,2$ e 3 . O valor "z" indica o preditor de acordo com a amarração de fase do sinal e "i" indica a posição espacial da amostra na linha considerada.

III.4 - PROCESSAMENTO DA IMAGEM

Na realização das simulações fez-se uso do sinal composto PAL-M obtido através de um programa denominado RGBM que realiza a conversão "componentes/composto" e que se encontra disponível no banco de dados do Departamento de Comunicações da

Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP. No processo das transformações dos sinais primários para o sinal composto realiza-se a filtragem do sinal de acordo com as características do sistema PAL-M. O sinal assim gerado é o sinal de entrada para o sistema MCPQ.

As simulações para a avaliação do sistema, são efetuadas para diferentes quantizadores e preditores sendo o desempenho dos mesmos medido em termos de relação sinal/ruído e taxa de bits.

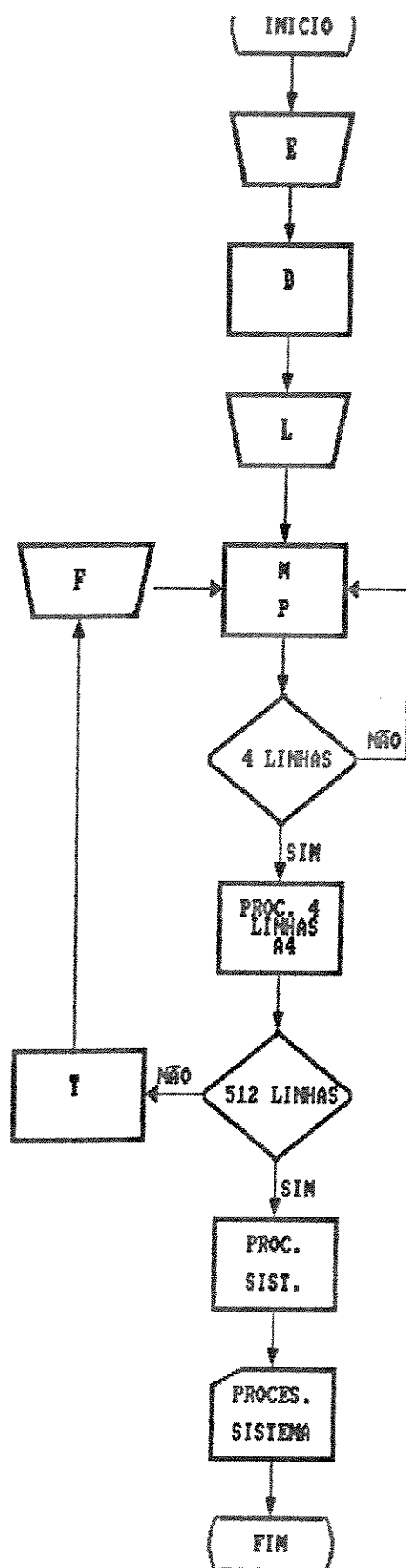
O sinal recomposto, representa o sinal recebido no receptor, no caso em que o canal de transmissão ideal, i.e, não introduz a distorção. Para a realização da análise subjetiva das imagens consideradas fez-se a decomposição do sinal PAL-M recomposto de volta para os sinais primários. Isso foi realizado mediante o programa MRGB também disponível.

Supõe-se que ambos os programas RGBM e MRGB não provocam erros nas imagens durante o processo da transformação dos sinais primários para os sinais compostos e vice-versa.

No processo de transformação dos sinais primários para o composto PAL-M o programa RGBM deve fornecer amostras adicionais correspondentes às 512 que existem nos arquivos originais a fim de compensar o espalhamento provocado pelas filtragens [3.2].

III.4.1 - Programa para Simulação

O programa para avaliação do sistema foi denominado MCPQ. Tal programa permite fazer mudanças no preditor e no quantizador modificando os dados na entrada do programa. A Fig.III.5 mostra o diagrama de fluxo geral do sistema.



SÍMBOLO	FUNÇÕES
E	Entrada de dados
D	Definição das relações , condições e valores iniciais
L	Leitura das 4 primeiras linhas do quadro com sinal composto
M	Processamento de 1 linha de cada campo (total 2 linhas de um quadro)
P	Processamento do sistema MCPQ
A4	Análise de 2 linhas da imagem
T	Troca de linhas , as 2 últimas passam a ser as 2 primeiras
F	Leitura de mais 2 linhas para o processamento

Fig.III.5 - O fluxograma do processamento do sistema MCPQ.

Têm-se:

E = entrada de dados

D = definição das relações, condições e valores iniciais

L = leitura das 4 primeiras linhas do quadro com sinal composto

M = processamento de uma linha de cada campo (total: duas linhas de um quadro)

P = processamento do sistema MCPQ

A4 = análise de 2 linhas da imagem

T = troca de linhas; as duas últimas linhas passam a ser as duas primeiras

F = leitura de mais duas linhas para o processamento

III.5 - O SISTEMA MCPQ

O sistema MCPQ é mostrado na Fig.III.6 onde se apresenta a correspondência entre os sinais e as diferentes variáveis no programa. Também se indicam os intervalos dos valores das variáveis.

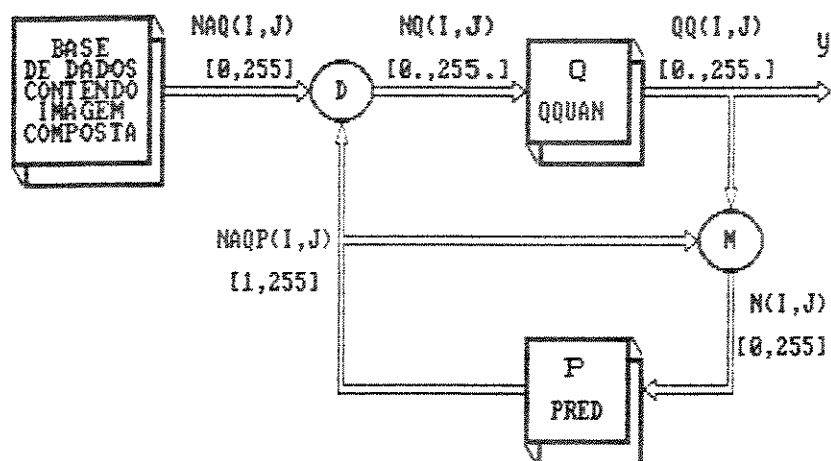


Fig.III.6 - Intervalo de variação das variáveis no sistema MCPQ proposto.

No processamento da informação usou-se:

a) Variáveis de entrada

NLQ = número de linhas processadas

NW = escrita dos parâmetros de saída do sistema MCPQ

NRE = parâmetro para determinação do arquivo de entrada de dados da imagem a processar

NX = parâmetro para determinação do nível de referência do ruído

IZN = parâmetro para escolha do preditor a utilizar

NY = parâmetro para escolha da lei de quantização

NBIT, MBIT, KBIT = valores de "n", "m", "k" para determinação da lei de quantização

b) Variáveis de Saída (para o sistema MCPQ e MCPQ-MD)

SNQX = valor obtido no processamento da imagem no sistema

SREF = relação sinal/ruído de referência para a imagem escolhida

HQ = entropia quantizada do sinal

Q = taxa de bits de transmissão

PKQ = porcentagem da frequência de ocorrência na região "K"

PMQ = porcentagem da frequência de ocorrência na região "M"

PNQ = porcentagem da frequência de ocorrência na região "N"

RMQ = valor médio da taxa de bits por amostra

IZ0, IZ1, IZ2, IZ3 = variáveis associadas ao preditor escolhido

NQQ = número de ocorrência do valor "1" depois da quantização

No processamento da imagem, o programa utiliza as seguintes subrotinas:

PR8E = subrotina do preditor para $f_a = (8/3)f_{sc}$

RSN8 = subrotina para determinação do valor de referência da relação sinal/ruído, para a imagem processada

COEF8 = subrotina para determinação dos coeficientes dos preditores

LEI = subrotina para escolha dos limiares de quantização (contém várias leis de quantização)

QQUAN = subrotina do quantizador do sinal quociente

PRBE = subrotina para escolha dos preditores chaveados

KEP = subrotina do limitador do sinal de saída do preditor

ENTROQ = subrotina para cálculo da entropia

CONTQ = subrotina que ordena os números em 4 regiões [0,0.5] [0.5;1] [1.,2] [2.,255] depois da quantização. Contém 4 subrotinas: CONQ1, CONQ2, CONQ3 e CONQ4.

CONT = subrotina que ordena os números do sinal quociente por regiões. Contém as subrotinas CONT1, CONT2, CONT3 e CONT4.

Para a realização do sistema MCPQ-M, devido ao fato de se dividir o sinal de entrada pela média entre o sinal de entrada e o sinal previsto, os limiares dos valores do sinal no sistema ficam como mostrado na Fig.III.7.

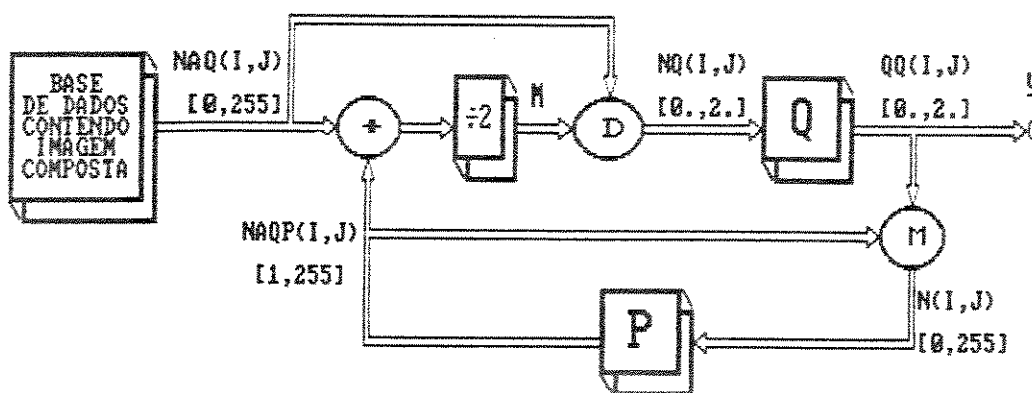


Fig.III.7 - Intervalo de variação das variáveis no sistema MCPQ-M proposto.

A fim de se determinar o valor médio para o sistema MCPQ-M foi necessário adicionar apenas uma linha no programa original MCPQ, redefinindo o denominador do sinal quantizado, isto é:

$$NAQP(I1,J1) = IFIX(FLOAT(NAQ(I1,J1) + NAQ(I1,J1))/2. + 0.5) \quad III.12$$

este valor foi denominado "M" na análise do sinal no capítulo anterior.

III.5.1 - Análise Subjetiva

A análise subjetiva é feita seguindo-se o seguinte procedimento:

- 1 - Escolhe-se o par "preditor-quantizador" desejado e faz-se o processamento das imagens usando-se o sinal composto.
- 2 - Obtém-se o sinal digital recuperado localmente, ou seja, o sinal antes da predição.
- 3 - Faz-se a decomposição do sinal composto nos correspondentes sinais primários.
- 4 - Os sinais primários são visualizados num monitor de uma estação de processamento de imagens (no caso foi usado o sistema SITIM, Sistema de Tratamento de Imagens produzido pela Engespaço, São José dos Campos - SP).
- 5 - Observa-se a imagem reproduzida no monitor e faz-se uma avaliação subjetiva comparando-se a imagem recuperada com a original. Naturalmente existe a escala de 5 graus recomendada pela CCIR, porém não há infra-estrutura disponível no momento para implementar as medidas baseadas nessa recomendação [3.3]

III.6 - IMAGENS PADRÃO DA "SMPTE"

É um conjunto de 15 imagens na forma de diapositivos que são propostos pela "SMPTE" pretendendo que cada uma delas seja representativa de determinadas características em cenas comuns de televisão comercial. Essas imagens dão origem a sinais com caráter essencialmente estatístico, possibilitando uma avaliação mais próxima da realidade. No presente trabalho usam-se apenas 3 dessas imagens, quais sejam as imagens SMPTE números 2, 4 e 15. Essas imagens escolhidas são classificadas como mostra a Tab.III.2.

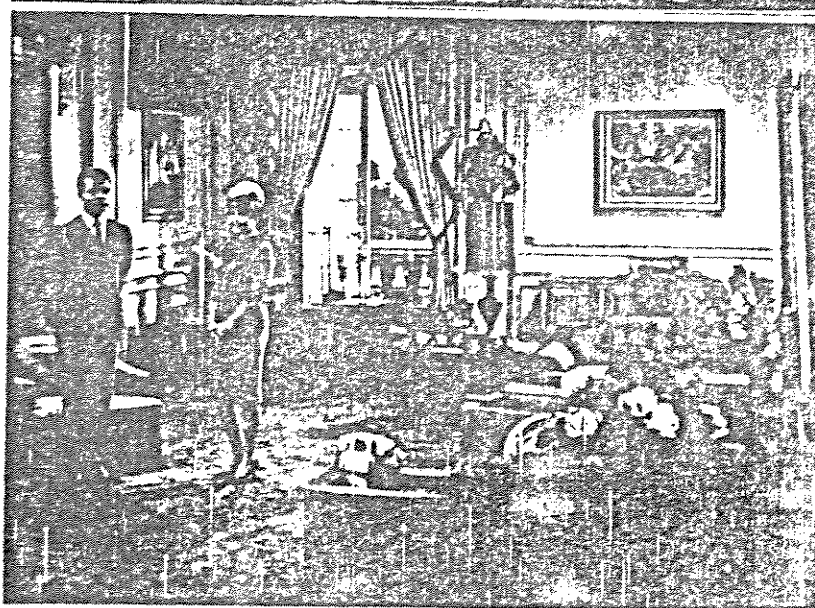
Imagem de Teste nº	Características
2	muito detalhe, fundo rico, luz diurna, ambiente interior, quantidade razoável de iluminação
4	detalhe localizado, fundo pobre, luz diurna, ambiente interior, cabeça e ombro, muita iluminação
15	muito detalhe, fundo rico, luz diurna, ambiente interior, muita iluminação, ênfase na pessoa

Tab.III.2 - Classificação adotada para as 3 imagens da "SMPTE" escolhidas para simulação.

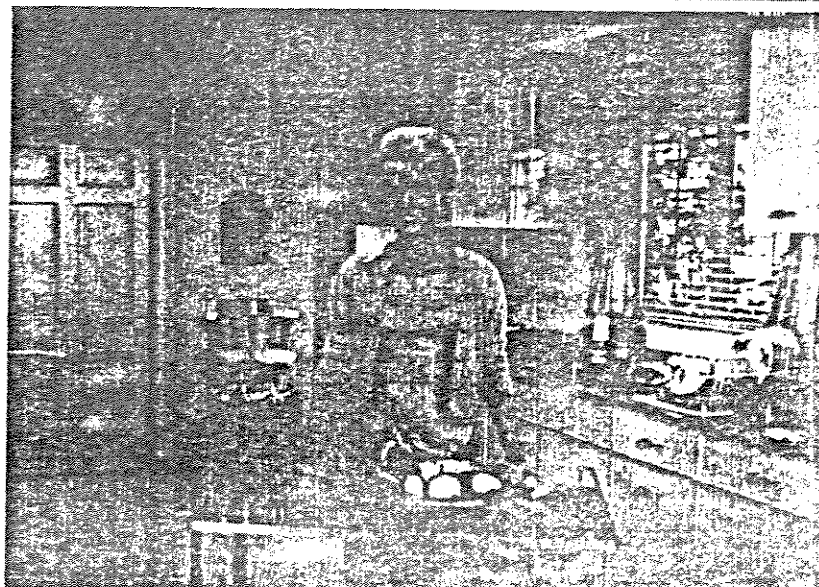
As imagens mostradas na Fig.III.8 em preto e branco, são a reprodução das fotografias originais antes da digitalização. Durante a digitalização a imagem luminosa é filtrada por filtros de luz primários antes da conversão óptico-elétrico. Os sinais elétricos geram então, após a digitalização, 3 matrizes de 512 x 512 pontos, sendo que cada uma dessas matrizes corresponde a uma



(04)



(02)



(15)

Fig.III.8 - Imagens da SMPTE (Cópia em preto e branco).

das cores primárias, vermelho, verde e azul. Cabe ressaltar que durante o processo de digitalização introduz-se uma degradação na qualidade da imagem em relação à da fotografia original.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E CONCLUSÕES

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E CONCLUSÕES

IV.1 - MODELAMENTO E PROGRAMAS UTILIZADOS

Inicialmente para efetivar as simulações foram feitos estudos preliminares sobre o sinal quociente usando-se o programa "QUOCIENTE". Esse programa permitiu a observação da frequência de distribuição dos valores do sinal quociente bem como a distância (delta) entre dois números sucessivos.

No caso do sistema MCPQ-M, também foi realizado um estudo sobre a informação fornecida pelo programa "QUOMÉDIA" com respeito à frequência de distribuição dos valores do sinal quociente.

O primeiro passo para a realização das simulações, foi testar o sistema proposto com um quantizador 1:1 e preditores fixos (sem chaveamento). A escolha dos preditores baseia-se em trabalho anterior onde se usa o sistema MCPD a fim de se realizar algumas comparações [4.1]. Na verdade, é difícil a realização de uma comparação direta entre os sistemas citados devido ao fato de que os quantizadores de ambos são muito diferentes, uma vez que o sistema MCPQ é assimétrico e não linear sendo a saída do mesmo dada por números reais ao contrário do sistema MCPD que trabalha com números inteiros.

Para a avaliação do sistema usaram-se programas que permitem a realização da análise objetiva e subjetiva. A Fig.IV.1

mostra o esquema usado para tanto.

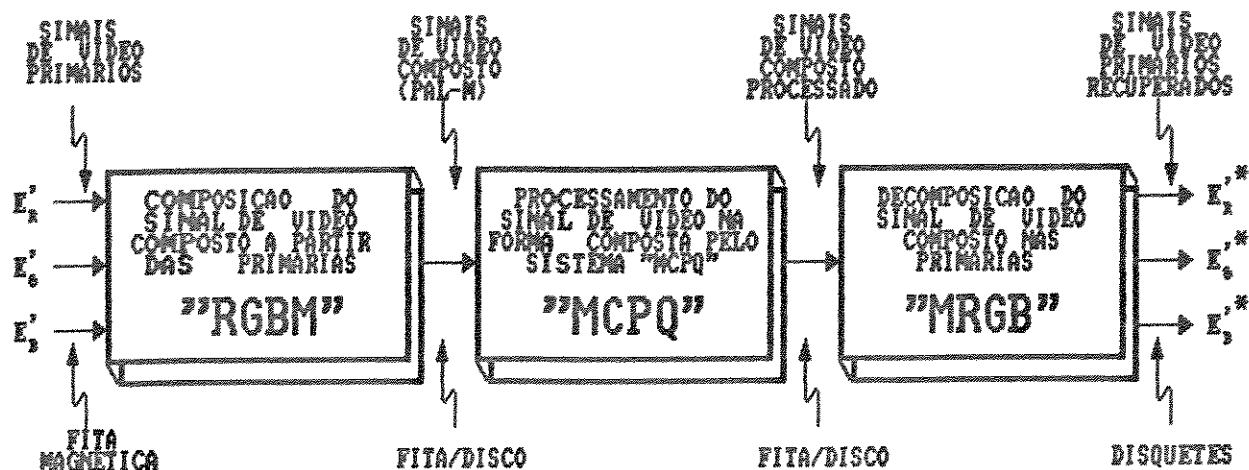


Fig.IV.1 - Modelamento do sistema para a realização das simulações.

Nessa figura o bloco "RGBM" transforma as componentes primárias E'_R , E'_G e E'_B no sinal de vídeo composto E'_M segundo o padrão do sistema PAL-M. O bloco MCPQ constitui o programa que simula o sistema MCPQ. A sua saída é um arquivo de dados que corresponde a um sinal de vídeo composto E'^*_M . O bloco "MRGB" faz a transformação do sinal composto recuperado pelo sistema nas primárias E'^*_R , E'^*_G e E'^*_B . Essa decomposição é necessária para a realização da análise subjetiva [4.2].

Para se observar a imagem no SITIM, foi preciso transferir os arquivos recuperados da imagem E'^*_R , E'^*_G e E'^*_B para disquetes (discos flexíveis), uma vez que o sistema de tratamento de imagens SITIM usa um micro PC-XT ou PC-AT.

Os arquivos contendo os dados das cores primárias estão em "Bytes" a fim de minimizar a ocupação da fita magnética usada como memória de massa. Portanto, deve-se transformar os arquivos do formato binário para o formato inteiro antes do processamento. Essa transformação é realizada pelo programa disponível

"ABINTOASC" [4.3].

O programa usado no VAX(DEC) para ser compatível com a linguagem FORTRAN do CYBER-830 deve sofrer pequenas modificações.

Quando os dados das imagens em formato inteiro são transferidos da fita e/ou diskete para o disco e vice-versa tais dados ficam misturados com as informações de controle que são fornecidas pelo programa aplicativo usado. Essas informações devem ser retiradas, porque elas aparecem junto com a imagem original na tela provocando barras verticais que causam interferências regularmente espaçadas na imagem. Para eliminar essas informações de controle da imagem, usa-se um programa simples em linguagem PASCAL, a qual oferece maiores facilidades do que o FORTRAN quando se trabalha com arquivos de dados numéricos.

IV.2 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Com os preditores escolhidos e mostrados na Tab.II.1 e com os quantizadores da Tab.II.2 realizaram-se as simulações afim de se observar o comportamento do sistema MCPQ. Posteriormente, realizaram-se testes com o sistema MCPQ-M, observando-se neste caso que existe uma melhora notável de desempenho e que pode ser constatada pela análise dos parâmetros de qualificação do sistema, isto é, a relação sinal/ruído, a entropia do quociente quantizado e a taxa de bits de transmissão. Dessa forma, neste trabalho a ênfase para apresentação de resultados é dada para o sistema MCPQ-M.

As leis de quantização estão associadas à subrotinas

LEI_X, onde "X" é um número inteiro como se mostra na Tab.IV.1.

Subrotina	Leis de Quantização n-m-k	Nº de Níveis
LEI 1	0-3-9	68
LEI 2	0-1-7	64
LEI 3	0-3-8	38
LEI 4	1-4-8	23
LEI 5	1-2-8	67
LEI 6	0-2-7	34
LEI 7	1-3-8	35
LEI 8	0-2-8	66
LEI 9	0-1-8	128

Tab.IV.1 - Subrotinas Associadas às Leis de Quantização.

IV.2.1 - Análise dos Resultados

A Tab.IV.2 mostra os resultados obtidos para a relação sinal/ruído e para a entropia quantizada quando se usa os preditores 48 e 57, preditores esses que foram selecionados para as simulações do sistema MCPQ. Tal escolha baseou-se no fato de que esses preditores apresentam melhor desempenho do que os outros propostos para quantização 1:1 no caso do sistema MCPD [4.1]. Essa tabela é apresentada para observar as diferenças que existem entre os sistemas MCPQ e o MCPQ-M.

Para o caso dos quantizadores escolheu-se aqueles que apresentam uma maior relação sinal/ruído e uma menor entropia quantizada.

Nota-se que existe um compromisso entre a relação sinal/ruído e a entropia quantizada. A entropia quantizada está

diretamente relacionada com o número de níveis de quantização usado, ou seja, a entropia aumenta com o aumento dos níveis de quantização, assim como a relação sinal/ruído também tende a crescer uma vez que os erros de quantização diminuem com o aumento do número de níveis.

IMAGEM 4						
Quantizador	Preditor 48			Preditor 57		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 180	HQ
Lei 3	12.3	13.2	3.9	10.1	10.8	3.8
Lei 8	22.3	23.7	4.3	20.5	21.7	4.1
Lei 9	27.5	28.8	5.2	24.2	25.5	5.0

Tab. IV.2 - Resultados para o sistema MCPQ simples.

Na Tab. IV.2 observa-se uma baixa relação sinal/ruído. Isso ocorre porque o erro gerado pelo quantizador é grande uma vez que esse erro tende a aumentar proporcionalmente ao valor do sinal previsto. Dessa forma propôs-se o sistema modificado MCPQ-M para tentar diminuir o erro de quantização.

IV.2.2 - Simulações com o Sistema MCPQ-M

Para a realização das simulações usou-se as imagens 02, 04 e 15 da SMPTE. As Tabs. IV.3, IV.4 e IV.5, mostram os resultados mais significativos obtidos das simulações para os preditores escolhidos.

As Tabs. IV.6 (a), (b), (c) e (d) mostram alguns resultados adicionais obtidos para outros preditores usando-se a imagem SMPTE 4.

IMAGEM 2						
LEI	Preditor 48			Preditor 57		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 180	HQ
LEI 1	35.6	37.3	4.4	32.4	34.2	4.3
LEI 2	33.8	34.0	3.2	31.6	33.1	3.1
LEI 3	46.3	48.1	3.8	43.6	45.4	3.7
LEI 4	34.1	35.8	3.3	32.2	34.0	3.2
LEI 5	49.6	51.3	4.4	47.3	48.78	4.3
LEI 6	50.4	52.1	4.3	47.9	49.7	4.2
LEI 7	40.0	41.8	3.9	37.6	39.3	3.8
LEI 8	49.5	51.2	4.3	46.8	48.6	4.1
LEI 9	52.9	54.7	5.0	49.5	51.2	4.8

Tab.IV.3 - Parâmetros para a avaliação do desempenho dos preditores 48 e 57 para as leis escolhidas, realizadas com a imagem SMPTE 2.

IMAGEM 4						
LEI	Preditor 48			Preditor 57		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 180	HQ
LEI 1	43.2	44.7	4.0	41.4	43.2	4.1
LEI 2	51.1	52.9	4.2	48.5	50.3	4.0
LEI 3	47.9	49.6	3.8	45.2	46.9	3.7
LEI 4	35.5	37.2	3.2	34.5	36.2	3.0
LEI 5	51.22	52.9	4.2	50.2	52.0	3.9
LEI 6	53.2	55.1	4.5	51.2	52.8	4.3
LEI 7	42.3	43.7	4.3	41.5	40.3	4.1
LEI 8	49.3	51.1	4.2	56.2	58.01	4.9
LEI 9	51.8	53.5	5.0	52.4	54.2	4.8

Tab.IV.4 - Parâmetros para avaliação do desempenho dos preditores 48 e 57 sobre a imagem SMPTE 4.

I M A G E M 15						
LEI	Preditor 48			Preditor 57		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 180	HQ
LEI 1	38.5	40.3	4.2	33.4	35.18	4.1
LEI 2	49.3	50.8	4.0	46.2	47.9	3.8
LEI 3	47.4	49.1	3.7	44.4	46.2	3.6
LEI 4	35.9	37.7	3.0	33.2	35.0	3.0
LEI 5	51.0	52.7	4.1	47.9	49.7	3.9
LEI 6	40.9	42.1	3.6	37.8	39.3	3.7
LEI 7	41.6	43.4	3.8	38.2	39.9	3.7
LEI 8	48.7	50.5	4.1	45.4	47.2	3.9
LEI 9	56.4	58.2	4.9	52.3	54.1	4.7

Tab.IV.5 - Parâmetros para avaliação do desempenho dos preditores 48 e 57 sobre a imagem 15.

As Tabs.IV.7, IV.8 e IV.9 mostram os níveis de quantização escolhidos "BQT" para quantizadores que seguem a LEI3 e possuem 38 níveis. Nessas tabelas encontram-se também as frequências de ocorrência "NQQ" correspondentes aos diversos níveis. No Apêndice A são fornecidos os níveis de quantização bem como a frequência de ocorrência do quociente quantizado para quantizadores com 66 níveis para as imagens SMPTE 2 e 4.

No Apêndice B são fornecidas as listagens dos programas de computador usadas para as simulações de avaliação de desempenho do sistema proposto. Tais programas consistem de um programa principal e subrotinas que modelam o sistema MCPQ e MCPQ-M, englobando dessa forma as diversas funções necessárias para a realização do modelamento bem como dos cálculos dos parâmetros de avaliação objetiva.

LEI	Preditor 14			Preditor 48		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 400	HQ
LEI 1	-	-	-	46.3	48.1	3.8
LEI 2	44.8	46.5	4.6	-	-	-
LEI 4	28.4	30.1	3.5	34.4	35.8	3.3
LEI 5	45.0	46.8	4.6	50.4	52.1	4.3

(a)

LEI	Preditor 55			Preditor 56		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 400	HQ
LEI 1	43.77	45.5	3.9	42.3	44.1	3.8
LEI 2	48.1	49.9	4.4	-	-	-
LEI 4	51.8	33.6	3.4	31.0	32.7	3.4
LEI 5	48.9	50.7	4.4	46	47.7	4.3

(b)

LEI	Preditor 10			Preditor 11		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 180	HQ
LEI 1	43.4	45.2	3.9	41.0	42.8	3.9
LEI 2	48.1	49.9	4.4	45.3	47.07	4.5
LEI 4	31.7	33.5	3.4	28.97	30.7	3.5
LEI 5	48.7	50.4	4.4	45.5	44.3	4.4

(c)

LEI	Preditor 12			Preditor 13		
	SN 700	SN 180	HQ	SN 700	SN 400	HQ
LEI 1	43.2	45.0	3.8	40.4	42.1	4.0
LEI 2	47.3	49.1	4.4	44.7	46.5	4.6
LEI 4	32.2	34.6	3.3	29.2	31.0	-
LEI 5	47.5	49.3	4.3	45.0	46.8	4.6

(d)

Tab.IV.6 - Outros resultados obtidos para avaliação de desempenho no sistema MCPQ-M.

BQT (1) =	.1000	NQQ =	2701
BQT (2) =	.2750	NQQ =	114
BQT (3) =	.4486	NQQ =	1171
BQT (4) =	.6667	NQQ =	2238
BQT (5) =	.8000	NQQ =	2313
BQT (6) =	.8236	NQQ =	662
BQT (7) =	.8431	NQQ =	1525
BQT (8) =	.8750	NQQ =	3917
BQT (9) =	.9167	NQQ =	7584
BQT (10) =	.9444	NQQ =	5944
BQT (11) =	.9608	NQQ =	9759
BQT (12) =	.9712	NQQ =	5994
BQT (13) =	.9756	NQQ =	4792
BQT (14) =	.9783	NQQ =	1274
BQT (15) =	.9796	NQQ =	1455
BQT (16) =	.9818	NQQ =	5836
BQT (17) =	.9855	NQQ =	38954
BQT (18) =	.9892	NQQ =	9792
BQT (19) =	.9929	NQQ =	8249
BQT (20) =	1.0000	NQQ =	120319
BQT (21) =	1.0060	NQQ =	3059
BQT (22) =	1.0097	NQQ =	12803
BQT (23) =	1.0145	NQQ =	15408
BQT (24) =	1.0182	NQQ =	3525
BQT (25) =	1.0217	NQQ =	4073
BQT (26) =	1.0256	NQQ =	4600
BQT (27) =	1.0313	NQQ =	5658
BQT (28) =	1.0400	NQQ =	5033
BQT (29) =	1.0526	NQQ =	4914
BQT (30) =	1.0667	NQQ =	3020
BQT (31) =	1.0833	NQQ =	3211
BQT (32) =	1.1111	NQQ =	3114
BQT (33) =	1.1679	NQQ =	3114
BQT (34) =	1.2535	NQQ =	2227
BQT (35) =	1.3600	NQQ =	697
BQT (36) =	1.5000	NQQ =	851
BQT (37) =	1.6650	NQQ =	633
BQT (38) =	1.8750	MQQ =	567

Tab.IV.7 - Níveis de quantização e frequência de ocorrência do sinal quantizado para a imagem 2 com o preditor 57 e a lei de quantização LEI3.

BQT (1) =	.1000	NQQ =	3342
BQT (2) =	.2750	NQQ =	621
BQT (3) =	.4486	NQQ =	1355
BQT (4) =	.6667	NQQ =	1907
BQT (5) =	.8000	NQQ =	3443
BQT (6) =	.8236	NQQ =	295
BQT (7) =	.8431	NQQ =	1045
BQT (8) =	.8750	NQQ =	1991
BQT (9) =	.9167	NQQ =	3937
BQT (10) =	.9444	NQQ =	4426
BQT (11) =	.9608	NQQ =	10268
BQT (12) =	.9712	NQQ =	5008
BQT (13) =	.9756	NQQ =	5758
BQT (14) =	.9783	NQQ =	7945
BQT (15) =	.9796	NQQ =	6960
BQT (16) =	.9818	NQQ =	17074
BQT (17) =	.9855	NQQ =	14387
BQT (18) =	.9892	NQQ =	13869
BQT (19) =	.9929	NQQ =	14773
BQT (20) =	1.0000	NQQ =	117064
BQT (21) =	1.0060	NQQ =	2196
BQT (22) =	1.0097	NQQ =	17131
BQT (23) =	1.0145	NQQ =	9459
BQT (24) =	1.0182	NQQ =	7141
BQT (25) =	1.0217	NQQ =	8597
BQT (26) =	1.0256	NQQ =	3458
BQT (27) =	1.0313	NQQ =	4948
BQT (28) =	1.0400	NQQ =	4896
BQT (29) =	1.0526	NQQ =	4116
BQT (30) =	1.0667	NQQ =	1780
BQT (31) =	1.0833	NQQ =	1933
BQT (32) =	1.1111	NQQ =	1712
BQT (33) =	1.1679	NQQ =	1753
BQT (34) =	1.2535	NQQ =	2669
BQT (35) =	1.3600	NQQ =	608
BQT (36) =	1.5000	NQQ =	879
BQT (37) =	1.6650	NQQ =	1381
BQT (38) =	1.8750	NQQ =	975

Tab.IV.8 - Níveis de quantização e frequência de ocorrência do sinal quantizado para a imagem 4, o preditor 48 e a lei de quantização LEI3.

BQT (1) =	.1000	NQQ =	3538
BQT (2) =	.2750	NQQ =	371
BQT (3) =	.4486	NQQ =	1582
BQT (4) =	.6667	NQQ =	1807
BQT (5) =	.8000	NQQ =	3386
BQT (6) =	.8236	NQQ =	245
BQT (7) =	.8431	NQQ =	885
BQT (8) =	.8750	NQQ =	2629
BQT (9) =	.9167	NQQ =	5263
BQT (10) =	.9444	NQQ =	5104
BQT (11) =	.9608	NQQ =	8955
BQT (12) =	.9712	NQQ =	5122
BQT (13) =	.9756	NQQ =	5463
BQT (14) =	.9783	NQQ =	1563
BQT (15) =	.9796	NQQ =	1873
BQT (16) =	.9818	NQQ =	6362
BQT (17) =	.9855	NQQ =	31048
BQT (18) =	.9892	NQQ =	13637
BQT (19) =	.9929	NQQ =	19943
BQT (20) =	1.0000	NQQ =	117306
BQT (21) =	1.0060	NQQ =	3669
BQT (22) =	1.0097	NQQ =	17772
BQT (23) =	1.0145	NQQ =	13816
BQT (24) =	1.0182	NQQ =	3233
BQT (25) =	1.0217	NQQ =	3704
BQT (26) =	1.0256	NQQ =	3363
BQT (27) =	1.0313	NQQ =	4796
BQT (28) =	1.0400	NQQ =	4395
BQT (29) =	1.0526	NQQ =	4239
BQT (30) =	1.0667	NQQ =	2204
BQT (31) =	1.0833	NQQ =	2447
BQT (32) =	1.1111	NQQ =	2145
BQT (33) =	1.1679	NQQ =	2339
BQT (34) =	1.2535	NQQ =	2526
BQT (35) =	1.3600	NQQ =	606
BQT (36) =	1.5000	NQQ =	1226
BQT (37) =	1.6650	NQQ =	1539
BQT (38) =	1.8750	NQQ =	999

Tab.IV.9 - Níveis de quantização e frequência do sinal quantizado para a imagem 15, o preditor 48 e a lei de quantização LEI3.

IV.2.3 - Discussão sobre os resultados.

As simulações feitas com as imagens 02, 04 e 15, permitem as seguintes conclusões:

- a) A entropia conseguida com os preditores 48 e 57 diminui muito em relação aos outros preditores para um mesmo quantizador e ao mesmo tempo a relação sinal/ruído apresenta uma melhora considerável. A lei de quantização de 38 níveis (0-38), também apresenta um excelente comportamento para qualquer uma das imagens consideradas neste trabalho.
- b) A novidade com relação ao estudo do sistema proposto foi o fato de se trabalhar com números reais, e isso possibilita um amplo leque de pesquisas porque pode-se ainda analisar cada um dos sub-sistemas que formam o sistema MCPQ-M. Além disso, a alternativa introduzida pela utilização da divisão pela média permitiu a correção dos valores previstos o que melhorou notavelmente o desempenho do sistema. Tal melhoria permite deduzir que existe uma compensação do erro de quantização quando se usa a média resultando em um aumento da relação sinal/ruído e em uma diminuição da entropia.
- c) As frequências de ocorrência do sinal quociente quantizado para as diferentes imagens mostram que as entropias são da mesma ordem de grandeza podendo-se notar que existe uma maior concentração dos valores em torno de "1" conforme é esperado no caso de uma boa predição. O grau de concentração dos níveis

em torno de "1" é mais acentuado no caso do sistema MCPQ-M do que no caso do MCPQ.

d) Observa-se também uma melhora notável da relação sinal/ruído no caso do MCPQ-M em relação ao caso MCPQ simples. Este fato ocorre porque o sinal quantizado no sistema MCPQ-M fica restrito entre os limiares de "0" a "2" enquanto que no MCPQ o sinal pode variar no intervalo todo entre "0" e "255". Tal fato faz com que o erro devido ao produto do sinal predito pelo erro de quantização seja muito menor no caso do MCPQ-M do que no MCPQ como foi equacionado no Cap.II.

e) Com relação ao desempenho dos quantizadores pode ser observado que as leis LEI3, LEI5 e LEI8 apresentam um melhor comportamento no que se refere ao aumento da relação sinal/ruído e diminuição da entropia do sinal quociente quantizado. Este trabalho foi realizado com quantizadores não adaptativos e não houve um procedimento de otimização dos limiares. Mesmo assim, pôde-se constatar a viabilidade do sistema.

IV.3 - CONCLUSÕES

Dessa forma realizou-se um estudo do comportamento do sistema proposto MCPQ / MCPQ-M com o fim de se utilizar o mesmo para codificação digital de um sinal de televisão PAL-M.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade do sistema uma vez que os parâmetros objetivos encontrados permitem afirmar

que o sinal recuperado é de boa qualidade conforme foi confirmado pelos testes subjetivos feitos através da visualização em um monitor de vídeo de um sistema de tratamento de imagens (SITIMD).

O objetivo do presente estudo foi assim o de explorar uma alternativa de modificação do esquema MCPD convencional no que se refere às operações realizadas dentro da malha de realimentação. Por se tratar de uma novidade, não se deu muita ênfase aos aspectos práticos de implementação, mas os esforços foram dirigidos no sentido de se colher resultados que mostrassem pelo menos a viabilidade teórica do esquema proposto. No entanto, cabe ressaltar que mesmo o aspecto físico de implementação pode ser perfeitamente superado, uma vez que atualmente estão disponíveis no mercado, memórias PROM e "Arrays" tipo PAL/PLA com potencial para ser utilizado dentro da configuração proposta. O conjunto todo envolvendo o bloco de divisão e o quantizador pode ser implementado usando-se memórias PROM, assim a operação inversa de multiplicação também pode ser realizada com PROM's.

Os resultados conseguidos são bastante animadores e a idéia lançada, abre novas possibilidades que já estão sendo explorados e estudados em trabalho paralelo a este. Naturalmente, a aplicação imediata do trabalho apresentado, é ser parte de um esquema completo, ou seja, um equipamento para codificação digital de sinais de televisão. É interessante notar que o sinal fonte de entrada está na forma composta, apropriada e compatível com a maioria dos equipamentos utilizados em estúdios, estações de radiodifusão, retransmissoras e centros de distribuição de sinais de TV. No entanto, cabe lembrar que a forma de componentes vem ocupando seu próprio espaço nesses mesmos ambientes. Assim, é

válido supor que por exemplo as formas composta e de componentes deverão conviver juntas física e temporalmente, assim como se dá com os sinais analógicos e digitais.

Uma outra tendência atual é a utilização do sistema em cores NTSC dentro dos estúdios para geração de sinais e edição de programas. Neste caso, já real, torna-se interessante que os equipamentos de transmissão dos sinais possibilitem o tráfego do sinal NTSC além do PAL-M a fim de se evitar a degeneração dos mesmos que seria provocada pelas sucessivas transcódificações visando a compatibilização dos sinais. Dessa forma, o presente estudo está sendo extendido também para sinais NTSC.

Finalmente deve-se dizer que o presente estudo não deu prioridade a um estudo exaustivo, uma vez que muitos outros casos e situações podem ser simulados, porém os casos representativos foram analisados e os resultados obtidos mostraram de forma pioneira a viabilidade do esquema proposto.

APÊNDICE A

NÍVEIS DE QUANTIZAÇÃO

BQT(1)=	.0300	NQQ=	2550	BQT(1)=	.0300	NQQ=	2550
BQT(2)=	.1700	NQQ=	268	BQT(2)=	.1700	NQQ=	1132
BQT(3)=	.3900	NQQ=	553	BQT(3)=	.3900	NQQ=	593
BQT(4)=	.5500	NQQ=	710	BQT(4)=	.5500	NQQ=	1401
BQT(5)=	.6600	NQQ=	513	BQT(5)=	.6600	NQQ=	903
BQT(6)=	.7420	NQQ=	372	BQT(6)=	.7420	NQQ=	696
BQT(7)=	.7790	NQQ=	309	BQT(7)=	.7790	NQQ=	346
BQT(8)=	.8070	NQQ=	1685	BQT(8)=	.8070	NQQ=	3352
BQT(9)=	.8300	NQQ=	577	BQT(9)=	.8300	NQQ=	741
BQT(10)=	.8465	NQQ=	311	BQT(10)=	.8465	NQQ=	351
BQT(11)=	.8600	NQQ=	457	BQT(11)=	.8600	NQQ=	503
BQT(12)=	.8745	NQQ=	639	BQT(12)=	.8745	NQQ=	792
BQT(13)=	.8955	NQQ=	1855	BQT(13)=	.8955	NQQ=	1547
BQT(14)=	.9155	NQQ=	1671	BQT(14)=	.9155	NQQ=	1207
BQT(15)=	.9270	NQQ=	1677	BQT(15)=	.9270	NQQ=	1233
BQT(16)=	.9365	NQQ=	1981	BQT(16)=	.9365	NQQ=	1516
BQT(17)=	.9450	NQQ=	2693	BQT(17)=	.9450	NQQ=	2132
BQT(18)=	.9525	NQQ=	2953	BQT(18)=	.9525	NQQ=	2699
BQT(19)=	.9595	NQQ=	4493	BQT(19)=	.9595	NQQ=	4560
BQT(20)=	.9655	NQQ=	3341	BQT(20)=	.9655	NQQ=	3976
BQT(21)=	.9705	NQQ=	4855	BQT(21)=	.9705	NQQ=	5067
BQT(22)=	.9745	NQQ=	2970	BQT(22)=	.9745	NQQ=	3300
BQT(23)=	.9770	NQQ=	4711	BQT(23)=	.9770	NQQ=	4914
BQT(24)=	.9790	NQQ=	12374	BQT(24)=	.9790	NQQ=	12534
BQT(25)=	.9808	NQQ=	8349	BQT(25)=	.9808	NQQ=	8416
BQT(26)=	.9823	NQQ=	7577	BQT(26)=	.9823	NQQ=	7533
BQT(27)=	.9835	NQQ=	3073	BQT(27)=	.9835	NQQ=	3146
BQT(28)=	.9845	NQQ=	3086	BQT(28)=	.9845	NQQ=	3333
BQT(29)=	.9855	NQQ=	3647	BQT(29)=	.9855	NQQ=	3977
BQT(30)=	.9867	NQQ=	4284	BQT(30)=	.9867	NQQ=	4260
BQT(31)=	.9879	NQQ=	4235	BQT(31)=	.9879	NQQ=	4008
BQT(32)=	.9892	NQQ=	7196	BQT(32)=	.9892	NQQ=	6889
BQT(33)=	.9910	NQQ=	11450	BQT(33)=	.9910	NQQ=	11399
BQT(34)=	1.0000	NQQ=	137931	BQT(34)=	1.0000	NQQ=	127062
BQT(35)=	1.0080	NQQ=	6745	BQT(35)=	1.0080	NQQ=	6730
BQT(36)=	1.0095	NQQ=	3861	BQT(36)=	1.0095	NQQ=	3947
BQT(37)=	1.0105	NQQ=	3075	BQT(37)=	1.0105	NQQ=	3128
BQT(38)=	1.0115	NQQ=	2284	BQT(38)=	1.0115	NQQ=	2380
BQT(39)=	1.0125	NQQ=	2266	BQT(39)=	1.0125	NQQ=	2323
BQT(40)=	1.0135	NQQ=	1963	BQT(40)=	1.0135	NQQ=	1979
BQT(41)=	1.0150	NQQ=	4170	BQT(41)=	1.0150	NQQ=	4239
BQT(42)=	1.0170	NQQ=	3418	BQT(42)=	1.0170	NQQ=	3994
BQT(43)=	1.0190	NQQ=	4191	BQT(43)=	1.0190	NQQ=	5415
BQT(44)=	1.0210	NQQ=	3564	BQT(44)=	1.0210	NQQ=	4586
BQT(45)=	1.0230	NQQ=	2771	BQT(45)=	1.0230	NQQ=	3711
BQT(46)=	1.0250	NQQ=	1720	BQT(46)=	1.0250	NQQ=	1865
BQT(47)=	1.0270	NQQ=	1250	BQT(47)=	1.0270	NQQ=	1567
BQT(48)=	1.0290	NQQ=	1317	BQT(48)=	1.0290	NQQ=	1586
BQT(49)=	1.0315	NQQ=	2632	BQT(49)=	1.0315	NQQ=	1891
BQT(50)=	1.0345	NQQ=	1871	BQT(50)=	1.0345	NQQ=	1743
BQT(51)=	1.0380	NQQ=	1963	BQT(51)=	1.0380	NQQ=	2384
BQT(52)=	1.0425	NQQ=	1735	BQT(52)=	1.0425	NQQ=	1916
BQT(53)=	1.0475	NQQ=	1538	BQT(53)=	1.0475	NQQ=	1779
BQT(54)=	1.0535	NQQ=	1575	BQT(54)=	1.0535	NQQ=	1662
BQT(55)=	1.0595	NQQ=	880	BQT(55)=	1.0595	NQQ=	958
BQT(56)=	1.0670	NQQ=	1308	BQT(56)=	1.0670	NQQ=	1398
BQT(57)=	1.0785	NQQ=	1325	BQT(57)=	1.0785	NQQ=	1314
BQT(58)=	1.0925	NQQ=	1014	BQT(58)=	1.0925	NQQ=	1069
BQT(59)=	1.1100	NQQ=	879	BQT(59)=	1.1100	NQQ=	990
BQT(60)=	1.1350	NQQ=	820	BQT(60)=	1.1350	NQQ=	893
BQT(61)=	1.1750	NQQ=	737	BQT(61)=	1.1750	NQQ=	1131
BQT(62)=	1.2400	NQQ=	1979	BQT(62)=	1.2400	NQQ=	2650
BQT(63)=	1.3300	NQQ=	513	BQT(63)=	1.3300	NQQ=	600
BQT(64)=	1.4500	NQQ=	249	BQT(64)=	1.4500	NQQ=	814
BQT(65)=	1.6100	NQQ=	496	BQT(65)=	1.6100	NQQ=	738
BQT(66)=	1.8500	NQQ=	1145	BQT(66)=	1.8500	NQQ=	1674

Tab.A.1 - Níveis de quantização e Frequências de ocorrência do sinal quociente quantizado para 66 níveis da fig II.11

Q2(1)	1)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(2)	2)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(3)	3)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(4)	4)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(5)	5)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(6)	6)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(7)	7)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(8)	8)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(9)	9)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(10)	10)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(11)	11)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(12)	12)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(13)	13)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(14)	14)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(15)	15)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(16)	16)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(17)	17)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(18)	18)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(19)	19)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(20)	20)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(21)	21)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(22)	22)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(23)	23)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(24)	24)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(25)	25)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(26)	26)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(27)	27)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(28)	28)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(29)	29)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(30)	30)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(31)	31)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(32)	32)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(33)	33)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(34)	34)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(35)	35)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(36)	36)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(37)	37)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(38)	38)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(39)	39)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(40)	40)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(41)	41)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(42)	42)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(43)	43)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(44)	44)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(45)	45)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(46)	46)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(47)	47)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(48)	48)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(49)	49)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(50)	50)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(51)	51)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q2(52)	52)	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tab.A.2. - Níveis de quantização e frequências de ocorrência do sinal quantizado para 52 níveis p(SEMTE 4). Preditores: 14 e 57.

A P Ê N D I C E B

PROGRAMAS PARA SIMULAÇÕES

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
INTEGER NAQ,NAQP,ND,NXQ
DIMENSION NAQ(630,4),NAQP(630,4),AQ(630,4),AQ1(630,4),
1 NXQ(630,4),NVQ(39640),NK(512),BNT(39640),
2 AP1(12),AP2(12),AP3(12),APO(12),SP1(12),ITF(608),
3 BP2(12),BP3(12),BP0(12),CP1(12),CP2(12),CP3(12),CP0(12),
4 QE(128),QD(128),IT(630,4),ITL(608),VQA(39640),VQ(512),
5 NC1(9910),NC2(9910),NC3(9910),NC4(9910),BN1(9910),BN2(9910),
6 BN3(9910),BN4(9910),BQ1(256),BQ2(256),BQ3(256),BQ4(256),
7 NQ1(256),NQ2(256),NQ3(256),NQ4(256),NQ(512),BOT(512)

```

```

*****DADOS DE ENTRADA*****

```

```

PRINT*,*DAR:NLQ,NRE,NX,NW,IZN,NY,n,m,k:(FORM:13,412,411)*
READ(*,2)NLQ,NRE,NX,NW,IZN,NY,NBIT,MBIT,KBIT
FORMAT(13,412,411)

```

```

C
C      I
C      NLQ= NUMERO DE LINHAS NO PROCESSO
C      NW= ESCRITA DE PARAMETROS PARA AVALIACAO
C      NRE= ARQUIVO DE ENTRADA (SAIDA RGBM )
C      NX= ANALISE DE RUIDO (NIVEI CONSIDERADO)
C      IZN= LEI DE PREDICAO (XX)
C      NSE=ESCRITA DE SINAL RECUPERADO(O NAO ESCRIVE, MAIOR QUE O
C      ESCRIVE)
C      NSE=1
C      NWE=SAIDA DO SINAL RECOMPOSTA (TAPEXX, COM XX=NWE)
C      NWE=120
C      PARAMETROS DO QUANTIZADOR
C      NY=NRQ DA LEI DE QUANTIZACAO(1 A 9)
C      NBITS,MBITS ,KBITS=n,m,k, DO CODIGO ASSOCIADO AO QUANTIZADOR

```

```

C      RELACOES INICIAIS
C      CALCULO DE IZ0,IZ1,IZ2,IZ3
C      CALL PREV8(IZN,IZ0,IZ1,IZ2,IZ3)
C      F1=8.
C      F2=3.
C      LE=90
C      FSC=3.57561149
C      VM=63.
C      NBC=19
C      PI=3.141592654
C      WSC=2.*PI*FSC
C      FA=(F1/F2)*FSC
C      TH=(909./(4.*FSC))
C      TA=1./FA
C      RAD8L=WSC*263.*TH
C      MRAD8L=IFIX(RAD8L/(2.*PI))
C      TRAD8L=RAD8L-(FLOAT(MRAD8L))*2.*PI
C      NIL=1
C      NI=8
C      NAU=617
C      NAUL=630
C      FL=FLOAT(NLQ-2)/2.
C      FNA=FLOAT(NAU-NI+1)
C      FN=FL*FNA
C      SFN=SQRT(FN)
C      FNLA=(FN-1)/FNA
C      SFNA=SQRT(FN-1.)
C      FN2=2.*FN
C      FNA2=2.*FNA

```

```

FL2=2.*FL
SFNA2=SQRT(FN2-1.)
PASSO=1214./255.
PARAMETROS PARA O QUANTIZADOR
NNQ=2**NBIT-1
NMQ=2** (MBIT-NBIT)-1
NKQ=2** (KBIT-MBIT)-1

```

```

ESCOLHA DA RELACAO SINAL RUÍDO DE REFERENCIA

```

```

CALL RSNU(NX,SREF)

```

```

CONDICÖES INICIAIS

```

```

RQA=0.
ZQXA=0.
RQXA=0.
RQXAF=0.
SAMA=0.
C1A=0.
C2A=0.
C12A=0.
HQ=0.

```

```

DO 4 LAX=1,256

```

```

NQ1(LAX)=0

```

```

NQ2(LAX)=0

```

```

NQ3(LAX)=0

```

```

NQ4(LAX)=0

```

```

BQ1(LAX)=0.

```

```

BQ2(LAX)=0.

```

```

BQ3(LAX)=0.

```

```

BQ4(LAX)=0.

```

```

CONTINUE

```

```

DO 5 LX=1,9910

```

```

NC1(LX)=0

```

```

NC2(LX)=0

```

```

NC3(LX)=0

```

```

NC4(LX)=0

```

```

BN1(LX)=0.

```

```

BN2(LX)=0.

```

```

BN3(LX)=0.

```

```

BN4(LX)=0.

```

```

CONTINUE

```

```

DO 6 LIX=1,39640

```

```

NVQ(LIX)=0

```

```

BNT(LIX)=0.

```

```

CONTINUE

```

```

DO 7 LEX=1,512

```

```

VQQ(LEX)=0.

```

```

NQQ(LEX)=0.

```

```

BQT(LEX)=0.

```

```

CONTINUE

```

```

IX=0

```

```

K1=0

```

```

K2=0

```

```

K3=0

```

```

K4=0

```

```

KQ1=0

```

```

KQ4=0
KQT=0
IP=0
KT=0
PKD=0.
PMD=0.
PND=0.
PKQ=0.
PMQ=0.
PNQ=0.

```

```

C
C RESET DOS VALORES INICIAIS
C

```

```

I=0
J=0
J1=0
MD=1

```

```

C
C VALORES INICIAIS PARA A ENTRADA DO PREDITOR
C

```

```

DO 10 KI=1,4
DO 9 KL=1,630
NAQP(KL,KI)=IFIX(VM)
NXQ(KL,KI)=IFIX(VM)
9 CONTINUE
10 CONTINUE

```

```

C
C DETERMINACAO DOS COEFICIENTES DO PREDITOR
C

```

```

CALL COEF8(IZ0,IZ1,IZ2,IZ3,AP0,AP1,AP2,AP3,BP0,BP1,
6 BP2,BP3,CP0,CP1,CP2,CP3)

```

```

C
C LIMIARES DA LEI DE QUANTIZACAO
C

```

```

CALL LEI(NY,QE,QD)

```

```

C
C LEITURA DAS 4 PRIMEIRAS LINHAS DA IMAGEM IT(I,J)
C

```

```

DO 13 JR=1,4
INICIO=1
ULTIMO=32
DO 12 KP=1,NBC
READ(NRE,11)(IT(ID,JR),ID=INICIO,ULTIMO)

```

```

11 FORMAT(32I4)
INICIO=ULTIMO+1
ULTIMO=ULTIMO+32

```

```

12 CONTINUE

```

```

13 CONTINUE

```

```

DO 15 LR1=1,4
DO 14 LR2=1,608
NAQ(LR2+NI,LR1)=IT(LR2,LR1)

```

```

14 CONTINUE

```

```

15 CONTINUE

```

```

JL=4

```

```

16 J1=J1+1

```

```

IX=IX+1

```

```

C
C ***** SISTEMA MCPD *****
C

```

***** OBTENCAO DO SINAL QUOCENTE MCPQ-M *****

NAQP(I1,J1)=IFIX(FLOAT(NAQ(I1,J1)+NAQP(I1,J1))/2.+0.5)

AQ(I1,J1)=FLOAT(NAQ(I1,J1))/FLOAT(NAQP(I1,J1))
AQL=AQ(I1,J1)

***** SUBROUTINA DO QUANTIZADOR DO QUOCENTE ****

CALL QQUAN(AQL,AQLQ,Q5,QD)
AQQ(I1,J1)=AQLQ

**** OBTENCAO DO VALOR DE ENTRADA DO PREDITOR ****
NXQ(I1,J1)=IFIX(AQQ(I1,J1)*FLOAT(NAQP(I1,J1))+.5)

***** SUBROTINA DO PREDITOR *****

I1L=I1
J1L=J1
CALL PRBE(I1L,J1L,NXQ,AP0,AP1,AP2,AP3,BP0,BP1,BP2,
8 BP3,CPO,CP1,CP2,CP3,NAQP,MO,TA,WSC,JL,TH,PI,TRADBL)
IVP=NAQP(I1+1,J1)

***** SUBROTINA DO LIMITADOR *****

CALL KEP(IVP,IVPL)

NAQP(I1+1,J1)=IVPL
CONTINUE

***** ESCRITA DO SINAL RECOMPOSTA*****

IF(NSE)26,26,22

DO 23 LW1=NI+1,NI+608

ITL(LW1-NI)=NXQ(LW1,J1)

CONTINUE

COMECO=1

FIM=32

DO 25 JW=1,NBC

WRITE(NWE,24)(ITL(KLX),KLX=COMECO,FIM)

FORMAT(32I4)

COMECO=FIM+1

FIM=FIM+32

CONTINUE

IF(J1-4)16,27,27

***** OBTENCAO DE PARAMETROS PARA DUAS LINHAS*****

Q=0.

ZQX=0.

RQX=0.

RQXF=0.

SAM=0.

DO 30 J1=3,4

DO 29 I1=NI,NAU

*** NUMERO DE VEZES DO SINAL QUOCENTE ****

CALL CONT(AQ,BN1,BN2,BN3,BN4,NC1,NC2,NC3,NC4,K1,
2 K2,K3,K4,I1,J1)

2 KQ2,KQ3,KQ4,I1,J1)

***** RELACOES PARA O CALCULO DO ERPO QUADRATICO RQX

VLQ=(FLOAT(NAQ(I1,J1))-127.5)*PASSO+307.

VXQ=(FLOAT(NXQ(I1,J1))-127.5)*PASSO+307.

VPQ=(FLOAT(NAQP(I1,J1))-127.5)*PASSO+307.

ZLQ=FLOAT(NAQ(I1,J1))

ZXQ=FLOAT(NXQ(I1,J1))

ZQX=(ZLQ-ZXQ)**2.+7QX

RQX=(VLQ-VXQ)**2.+RQX

SAM=VLQ**2.+SAM

CONTINUE

CONTINUE

**** CALCULO DAS DIVERSAS RELACOES NAS LINHAS

RQA=(RQ/FNA2)+RQA

ZQXA=(ZQX/FNA2)+ZQXA

RQXA=(RQX/FNA2)+RQXA

SAMA=(SAM/FNA2)+SAMA

IF(JL-LE)35,32,35

WRITE(44,31)LE,NX,I2N,NLQ,NBIT,MBIT,KBIT,NY

FORMAT(/,2X,'NRO_LINHA ESCRITA=',I3,6X,'IMAGEN=',I2,

1 /,2X,'PREDITOR=',I2,6X,'NRO LINHAS PROCESSADAS=',I7,

2 /,2X,'N=',I1,2X,'M=',I1,2X,'K=',I1,5X,'LEI=',I2,/' :)

WRITE(44,34)(NAQ(I6,3),AQ(I6,3),AQQ(I6,3),

7 NXQ(I6,3),NAQP(I6,3),I6=NI,NAU)

FORMAT(4X,'X=',I3,4X,'Q=',F10.6,4X,'QQ=',F10.6,4X,'Xr=',I3,

8 4X,'Xp=',I3)

IF(JL-NLQ)36,44,44

***** ANALISE DO TOTAL DAS LINHAS*****

J1=2

JL=JL+2

DO 38 J3=1,2

J4=J3+2

DO 37 I3=NI,NAUL

NAQ(I3,J3)=NAQ(I3,J4)

NAQP(I3,J3)=NAQP(I3,J4)

AQ(I3,J3)=AQ(I3,J4)

AQQ(I3,J3)=AQQ(I3,J4)

NXQ(I3,J3)=NXQ(I3,J4)

CONTINUE

CONTINUE

**** LEITURA DE MAIS 2 LINHAS DA IMAGEM IT(I,J)

DO 41 JR=3,4

INICIO=1

ULTIMO=32

DO 40 KR=1,NBC

READ(NRE,39)(IT(IR,JR),IR=INICIO,ULTIMO)

FORMAT(32I4)

INICIO=ULTIMO+1

ULTIMO=ULTIMO+32

CONTINUE

CONTINUE

DO 43 LR3=3,4

DO 42 LR4=1,608

NAQ(LR4+NI,LR3)=IT(LR4,LR3)

```

)      GO TO 16
)
) C
) C      ***** CALCULO DA ENTROPIA QUANTIZADA
) 44      CALL ENTROQ(NQ1,NQ2,NQ3,NQ4,BQ1,BQ2,BQ3,BQ4,BQT,
) 1 KQ1,KQ2,KQ3,KQ4,KQT,NQ0, FN2, HQ)
)      DO 45 LKM=1,KQ3
) 45      CONTINUE
)      DO 46 LNM=1,KQT
)      NTEQ=NTEQ+NQQ(LNM)
) 46      CONTINUE
)      IF(KQ2-KQ3) 47,47,48
) 47      NTLQ=KQ3
)      GO TO 49
) 48      NTLQ=KQ2
)
) C
) C      CALCULO DA RELACAO SINAL/RUIDO BASEADO NO
) C      ERRO QUADRATICO MEDIO
) C
) 49      ZQXM=ZQXA/FL
)      RQXM=RQXA/FL
)      SAMM=SAMA/FL
) 53      IF(RQXM) 55,56,54
) 54      SNQX700=10.*ALOG10((700**2)/RQXM)
)      SNQX180=10.*ALOG10((180**2)/ZQXM)
)      SNQX=10.*ALOG10(SAMM/RQXM)
)      GO TO 57
) 55      SNQX=-1000.
)      GO TO 57
) 56      SNQX=1000.
)
) C
) C      CALCULO DAS DISTRIBUICOES ACUMULADAS POR REGIÃO
) C
) 57      DO 58 LQ7=1,KT
)      VQA(LQ7)=NVQ(LQ7)/FN2
) 58      CONTINUE
)      DO 59 LQ8=1,KQT
)      VQQ(LQ8)=NQQ(LQ8)/FN2
) 59      CONTINUE
)      NUQ=KQ4+KQ3
)      IF(NBIT) 60,60,61
) 60      IF(MBIT) 63,63,62
) 61      LS2=(NNQ/2.)+1
)      ALE2=QE(LS2)
)      ALD2=QD(LS2)
)      LS1=LS2+(NMQ/2.)
)      ALE1=QE(LS1)
)      ALD1=QD(LS1)
)      GO TO 64
) 62      LS=(NMQ/2.)+1
)      ALE1=QE(LS)
)      ALD1=QD(LS)
)      GO TO 64
) 63      ALD1=QD(1)
)      ALE1=QE(1)
) 64      PRINT*, 'ALE1=',ALE1, ' ALE2=',ALE2, ' ALD1=',ALD1, ' ALD2=',ALD2
)      DO 67 IE1=1,NUQ
)      IF(BQT(IE1)-ALE1) 67,65,65
) 65      NKE1=IE1-1

```

```

66 CONTINUE
GO TO 68
67 CONTINUE
68 DO 71 ID1=NUQ,KQT
IF(BQT(ID1)-ALD1)71,69,69
69 NKD1=ID1
DO 70 ICD1=NKD1,KQT
VD1=VD1+VQQ(ICD1)
70 CONTINUE
GO TO 72
71 CONTINUE
72 PKQ=VE1+VD1
IF(MBIT-1)87,86,73
73 DO 76 IE2=NKE1+1,NUQ
IF(BQT(IE2)-ALE2)76,74,74
74 NME2=IE2-1
DO 75 ICE2=NKE1+1,NME2
VE2=VE2+VQQ(ICE2)
75 CONTINUE
GO TO 77
76 CONTINUE
77 DO 80 ID2=NUQ,NKD1
IF(BQT(ID2)-ALD2)80,78,78
78 NMD2=ID2
DO 79 ICD2=NMD2,NKD1-1
VD2=VD2+VQQ(ICD2)
79 CONTINUE
GO TO 81
80 CONTINUE
81 PMQ=VE2+VD2
IF(NBIT)84,84,82
82 DO 83 INT=NME2+1,NMD2-1
PNQ=PNQ+VQQ(INT)
83 CONTINUE
GO TO 88
84 DO 85 ITM=NKE1+1,NKD1-1
PMT=PMT+VQQ(ITM)
PMQ=PMQ+PMT
85 CONTINUE
GO TO 88
86 PMQ=VQQ(NUQ)
GO TO 88
87 PKQ=PKQ+VQQ(NUQ)
C
C CALCULO DA TAXA MEDIA REAL DE BITS
C
88 RMQ=(PNQ)*NBIT+(PMQ)*MBIT+(PKQ)*KBIT
PQQ=PNQ+PMQ+PKQ
C
C CALCULO DO VALOR DIFERENCIAL DE PICO
C
S=NVQ(NUM)
C
C CALCULO DA TAXA DE BITS "Q"
C
Q=HQ/FA
C
C NUMERO DE VEZES DE OCORRENCIA DO UM

```

```

) NVQQ=NQ3(1)
) WRITE(NW,84)
89 FORMAT(//////,6X,'SNQX',6X,'SNQX700',4X,'SNQX180',5X,'SREF',
) 1 8X,'HQ',7X,'Q')
) WRITE(NW,92)SNQX,SNQX700,SNQX180,SREF,HQ,Q
92 FORMAT(2X,6(2X,F8.3))
) WRITE(NW,93)
93 FORMAT(/,9X,'PKQ',10X,'PMQ',10X,'PNQ',10X,'RMQ')
) WRITE(NW,94)PKQ,PMQ,PNQ,RMQ
94 FORMAT(2X,4(3X,F10.5))
) WRITE(NW,100)
100 FORMAT(/,6X,'IZ0',3X,'IZ1',3X,'IZ2',3X,'IZ3',
) 6 6X,'NQ3(1)',2X,'NY',3X,'NBIT',3X,'MBIT',3X,'KBIT')
) WRITE(NW,101)IZ0,IZ1,IZ2,IZ3,NVQQ,NY,NBIT,MBIT,KBIT
101 FORMAT(5X,4(14,2X),1X,17,3X,4(11,6X))
) WRITE(NW,102)
102 FORMAT(/,6X,'NLQ',2X,'IMAGEN',2X,'PREDITOR',6X,'KQ1',6X,
) 2 'KQ2',6X,'KQ3',6X,'KQ4',6X,'KQT')
) WRITE(NW,103)NLQ,NX,IZN,KQ1,KQ2,KQ3,KQ4,KQT
103 FORMAT(5X,13,2(6X,12),2X,4(7X,12),6X,13,/)
) DO 499 KLM=1,KQT
) WRITE(NW,500)KLM,BQT(KLM),NQ3(KLM)
500 FORMAT(2X,'BQT(',13,')=',F8.4,6X,'NQ3=',16)
499 CONTINUE
) STOP
) END

```

```

) SUBROUTINE PREV8(IZN,IZ0,IZ1,IZ2,IZ3)
) LOGICAL PZN
) DIMENSION PZN(99)
) DO 8000 NZP=1,99
) PZN(NZP)=.FALSE.
8000 CONTINUE
) PZN(IZN)=.TRUE.
) IF(IZN-14)8001,8001,8002
8001 IZ0=8000+IZN
) IZ1=8100+IZN
) IZ2=8200+IZN
) IZ3=8300+IZN
) GO TO 8100
8002 IF(IZN-47)8100,8100,8003
8003 IF(PZN(48))GO TO 8048
) IF(PZN(49))GO TO 8049
) IF(PZN(50))GO TO 8050
) IF(PZN(51))GO TO 8051
) IF(PZN(52))GO TO 8052
) IF(PZN(53))GO TO 8053
) IF(PZN(54))GO TO 8054
) IF(PZN(55))GO TO 8055
) IF(PZN(56))GO TO 8056
) IF(PZN(57))GO TO 8057
) IF(PZN(58))GO TO 8058
) IF(PZN(59))GO TO 8059
) IF(PZN(60))GO TO 8060
) GO TO 8100
8048 IZ0=8011
) IZ1=8110
) IZ2=8212
) IZ3=8310
) GO TO 8100
8049 GO TO 8100
8050 GO TO 8100
8051 GO TO 8100
8052 GO TO 8100
8053 GO TO 8100
8054 GO TO 8100
8055 IZ0=8010
) IZ1=8110
) IZ2=8212
) IZ3=8310
) GO TO 8100
8056 IZ0=8010
) IZ1=8102
) IZ2=8212
) IZ3=8311
) GO TO 8100
8057 IZ0=8010
) IZ1=8102
) IZ2=8213
) IZ3=8310
) GO TO 8100
8058 GO TO 8100
8059 GO TO 8100
8060 GO TO 8100
8100 RETURN
) STOP
) END

```

```

SUBROUTINE PR8E(I1L,J1L,NXQ,AP0,AP1,AP2,AP3,BP0,BP1,BP2,
BP3,CPO,CP1,CP2,CP3,NAQP,MO,TA,WSC,JL,TH,P1,TRADBL)
DIMENSION AP0(12),AP1(12),AP2(12),AP3(12),BP0(12),BP1(12),
BP2(12),BP3(12),CPO(12),CP1(12),CP2(12),CP3(12),
NXQ(630,4),NAQP(630,4)
AUX=0.
JL2=(JL/2)+1
IF(J1L-3) 2002,2003,2004
2002 AUX=FLOAT(NXQ(I1L-7,J1L))
GO TO 2016
2003 DELT8=0.
GO TO 2005
2004 DELT8=TRADBL
2005 TIA8=(FLOAT(JL2)-2.)*TH+(FLOAT(I1L))*TA
RAD8=WSC*TIA8
MRAD8=IFIX(RAD8/(2.*PI))
TRAD8=RAD8-(FLOAT(MRAD8))*2.*PI+DELT8
MFS=IFIX(10.*SIN(TRAD8))
MFC=IFIX(10.*COS(TRAD8))
IF(MFS) 2006,2012,2006
2006 IF(MFC) 2007,2008,2007
2007 IF(MFS*MFC) 2010,2010,2014
2008 DO 2009 LC0=1,12
AUX=AUX+AP0(LC0)*FLOAT(NXQ(I1L-LC0+1,J1L))
AUX=AUX+BP0(LC0)*FLOAT(NXQ(6-LC0+I1L,J1L-2))
2009 CONTINUE
GO TO 2016
2010 DO 2011 LC1=1,12
AUX=AUX+AP1(LC1)*FLOAT(NXQ(I1L-LC1+2,J1L))
AUX=AUX+BP1(LC1)*FLOAT(NXQ(7-LC1+I1L,J1L-2))
2011 CONTINUE
GO TO 2016
2012 DO 2013 LC2=1,12
AUX=AUX+AP2(LC2)*FLOAT(NXQ(I1L-LC2+3,J1L))
AUX=AUX+BP2(LC2)*FLOAT(NXQ(8-LC2+I1L,J1L-2))
2013 CONTINUE
GO TO 2016
2014 DO 2015 LC3=1,12
AUX=AUX+AP3(LC3)*FLOAT(NXQ(I1L-LC3+4,J1L))
AUX=AUX+BP3(LC3)*FLOAT(NXQ(9-LC3+I1L,J1L-2))
2015 CONTINUE
2016 NAQP(I1L+1,J1L)=IFIX(AUX+0.5)
RETURN
STOP
END

```

```

SUBROUTINE KEP(IVP,IVPL)
NB=8
IF(IVP) 303,303,301
301 IF(IVP-((2*NB)-1)) 302,302,304
302 IVPL=IVP
GO TO 305
303 IVPL=1
GO TO 305
304 IVPL=(2*NB)-1
305 RETURN
STOP
END

```

```

SUBROUTINE CONT(AQ,BN1,BN2,BN3,BN4,NC1,NC2,NC3,NC4,K1,
1 K2,K3,K4,I1,J1)
DIMENSION AQ(630,4),BN1(9910),BN2(9910),BN3(9910),BN4(9910),
2 NC1(9910),NC2(9910),NC3(9910),NC4(9910)
IF(AQ(I1,J1)-2.)106,106,105
105 CALL CONT1(AQ,BN1,NC1,K1,I1,J1)
GO TO 111
106 IF(AQ(I1,J1)-1.)108,108,107
107 CALL CONT2(AQ,BN2,NC2,K2,I1,J1)
GO TO 111
108 IF(AQ(I1,J1)-.5)110,110,109
109 CALL CONT3(AQ,BN3,NC3,K3,I1,J1)
GO TO 111
110 CALL CONT4(AQ,BN4,NC4,K4,I1,J1)
111 RETURN
STOP
END

```

```

SUBROUTINE CONQ(AQQ,BQ1,BQ2,BQ3,BQ4,NQ1,NQ2,NQ3,NQ4,KQ1,
1 KQ2,KQ3,KQ4,I1,J1)
DIMENSION AQQ(630,4),BQ1(256),BQ2(256),BQ3(256),BQ4(256),
2 NQ1(256),NQ2(256),NQ3(256),NQ4(256)
IF(AQQ(I1,J1)-2.)106,106,105
105 CALL CONQ1(AQQ,BQ1,NQ1,KQ1,I1,J1)
GO TO 111
106 IF(AQQ(I1,J1)-1.)108,108,107
107 CALL CONQ2(AQQ,BQ2,NQ2,KQ2,I1,J1)
GO TO 111
108 IF(AQQ(I1,J1)-.5)110,110,109
109 CALL CONQ3(AQQ,BQ3,NQ3,KQ3,I1,J1)
GO TO 111
110 CALL CONQ4(AQQ,BQ4,NQ4,KQ4,I1,J1)
111 RETURN
STOP
END

```

```

SUBROUTINE CONQ(AQQ,BQT,NQT,KQT,I1,J1)
DIMENSION AQQ(630,4),BQT(256),NQT(256)
A1=0.
KQT=KQT+1
BQT(KQT)=AQQ(I1,J1)
IF(KQT-1)15,15,10
10 DO 13 I11=1,KQT-1
IF(BQT(KQT)-BQT(I11))13,12,11
11 A1=BQT(KQT)
BQT(KQT)=BQT(I11)
BQT(I11)=A1
N1=NQT(KQT)
NQT(KQT)=NQT(I11)
NQT(I11)=N1
13 CONTINUE
GO TO 15
12 NQT(I11)=NQT(I11)+1 20
KQT=KQT-1
15 RETURN 21
STOP
END

```

```

) DIMENSION NQ0(512),NQ1(256),NQ2(256),NQ3(256),NQ4(256),
) BQ1(256),BQ2(256),BQ3(256),BQ4(256),BQ1(512)

```

```

) DO 50 I I6=1,KQ4
) IT6=NQ4+1-I I6
) NQ4(IT6)=NQ4(IT6)+1
) IP=I I6
) NQ0(IP)=NQ4(IT6)
) BQ1(IP)=BQ4(IT6)

```

50

```

) CONTINUE
) DO 51 I I7=1,KQ3
) IT7=K L3+1-I I7
) NQ3(IT7)=NQ3(IT7)+1
) IP=K L4+I I7
) NQ2(IP)=NQ3(IT7)
) BQ1(IP)=BQ3(IT7)

```

51

```

) CONTINUE
) DO 52 I I8=1,KQ2
) IT8=KQ2+1-I I8
) NQ2(IT8)=NQ2(IT8)+1
) IP=KQ4+KQ3+I I8
) NQ0(IP)=NQ2(IT8)
) BQ1(IP)=BQ2(IT8)

```

52

```

) CONTINUE
) DO 53 I I9=1,KQ1
) IT9=KQ1+1-I I9
) NQ1(IT9)=NQ1(IT9)+1
) IP=KQ4+KQ3+KQ2+I I9
) NQ0(IP)=NQ1(IT9)
) BQ1(IP)=BQ1(IT9)

```

53

```

) CONTINUE
) KQT=KQ1+KQ2+KQ3+KQ4
) DO 55 L3=1,KQT
) VQ=FLOAT(NQ0(L3))
) IF (VQ)55,54,55

```

54

```

) HQ=H2

```

```

) GO TO 56

```

55

```

) HQ=HQ+(VQ/FN2)*1.44269504*ALOG(FN2/VQ)

```

56

```

) CONTINUE

```

```

) RETURN

```

```

) STOP

```

```

) END

```

```

) SUBROUTINE COND2(AQ0,KQ2,NQ2,KQ2,I,J,J1)
) DIMENSION AQ0(630,4),BQ2(256),NQ2(256)
) A2=J.
) N2=J
) KQ2=KQ2+1
) BQ2(KQ2)=AQ0(I1,J1)
) IF (K L2-1)21,25,20
) DO 23 I I2=1,KQ2-1
) IF (BQ2(KQ2)-BQ2(I I2))23,22,21
) A2=B L2(KQ2)
) BQ2(KQ2)=B L2(I I2)
) BQ2(I I2)=A2
) N2=NQ2(KQ2)
) NQ2(KQ2)=NQ2(I I2)
) NQ2(I I2)=N2

```

23 CONTINUE

GO TO 25

22 NQ2(I I2)=NQ2(I I2)+1

KQ2=KQ2-1

25 RETURN

STOP

END

SUBROUTINE QQUAN(AQL,AQLQ,QE,QD)

DIMENSION QE(511),QD(511)

NQE=1

NQD=1

IF(AQL-1.)800,804,806

800 IF(AQL-QE(1))802,804,804

802 NQE=NQE+1

IF(AQL-QE(NQE))802,803,803

803 AQLQ=(QE(NQE)+QE(NQE-1))/2.

GO TO 810

804 AQLQ=1.

GO TO 810

805 IF(AQL-QD(1))804,804,806

806 NQD=NQD+1

IF(AQL-QD(NQD))807,807,806

807 AQLQ=(QD(NQD)+QD(NQD-1))/2.

810 RETURN

STOP

END

```

    A4=0.
    K4=K4+1
    BN4(K4)=AQ(I1,J1)
    IF(K4-1)45,45,40
40  DO 43 I14=1,K4-1
    IF(BN4(K4)-BN4(I14))43,42,41
41  A4=BN4(K4)
    BN4(K4)=BN4(I14)
    BN4(I14)=A4
    N4=NC4(K4)
    NC4(K4)=NC4(I14)
    NC4(I14)=N4
43  CONTINUE
    GO TO 45
42  NC4(I14)=NC4(I14)+1
    K4=K4-1
45  RETURN
    STOP
    END

```

```

SUBROUTINE CONT3(AQ,BN3,NC3,K3,I1,J1)
DIMENSION AQ(630,4),BN3(9910),NC3(9910)
A3=0.
K3=K3+1
BN3(K3)=AQ(I1,J1)
IF(K3-1)35,35,30
30  DO 33 I13=1,K3-1
    IF(BN3(K3)-BN3(I13))33,32,31
31  A3=BN3(K3)
    BN3(K3)=BN3(I13)
    BN3(I13)=A3
    N3=NC3(K3)
    NC3(K3)=NC3(I13)
    NC3(I13)=N3
33  CONTINUE
    GO TO 35
32  NC3(I13)=NC3(I13)+1
    K3=K3-1
35  RETURN
    STOP
    END

```

```

SUBROUTINE CONQ1(AQQ,BQ1,NQ1,KQ1,I1,J1)
DIMENSION AQQ(630,4),BQ1(256),NQ1(256)
A1=0.
N1=0
KQ1=KQ1+1
BQ1(KQ1)=AQQ(I1,J1)
IF(KQ1-1)15,15,10
10  DO 13 I11=1,KQ1-1
    IF(BQ1(KQ1)-BQ1(I11))13,12,11
11  A1=BQ1(KQ1)
    BQ1(KQ1)=BQ1(I11)
    BQ1(I11)=A1
    N1=NQ1(KQ1)
    NQ1(KQ1)=NQ1(I11)
    NQ1(I11)=N1
13  CONTINUE
    GO TO 15
12  NQ1(I11)=NQ1(I11)+1
    KQ1=KQ1-1
15  RETURN
    STOP
    END

```

2 BN1(9910),BN2(9910),BN3(9910),BN4(9910),BNT(39540)

DO 50 I16=1,K1
NC1(I16)=NC1(I16)+1
IP=I16

NVQ(IP)=NC1(I16)
BNT(IP)=BN1(I16)

50 CONTINUE
DO 51 I17=1,K2
NC2(I17)=NC2(I17)+1

IP=K1+I17
NVQ(IP)=NC2(I17)
BNT(IP)=BN2(I17)

51 CONTINUE
DO 52 I18=1,K3
NC3(I18)=NC3(I18)+1

IP=K1+K2+I18
NVQ(IP)=NC3(I18)
BNT(IP)=BN3(I18)

52 CONTINUE
DO 53 I19=1,K4
NC4(I19)=NC4(I19)+1

IP=K1+K2+K3+I19
NVQ(IP)=NC4(I19)
BNT(IP)=BN4(I19)

53 CONTINUE
KT=K1+K2+K3+K4

DO 56 L3=1,KT
VD=FLOAT(NVQ(L3))
IF (VD)55,54,55

54 HD=HD
GO TO 56

55 HD=HD+(VD/FN2)*1.44269504*ALOG(FN2/VD)

56 CONTINUE

RETURN
STOP
END

SUBROUTINE CONQ3(AQQ,BQ3,NQ3,KQ3,I1,J1)
DIMENSION AQQ(630,4),BQ3(256),NQ3(256)
A3=0.

KQ3=KQ3+1
BQ3(KQ3)=AQQ(I1,J1)
IF(KQ3-1)35,35,30

30 DO 33 I13=1,KQ3-1
IF(BQ3(KQ3)-BQ3(I13))33,32,31
31 A3=BQ3(KQ3)

BQ3(KQ3)=BQ3(I13)
BQ3(I13)=A3
NA3=NQ3(KQ3)

NQ3(KQ3)=NQ3(I13)
NQ3(I13)=NA3

33 CONTINUE
GO TO 35
32 NQ3(I13)=NQ3(I13)+1

KQ3=KQ3-1
35 RETURN

STOP
END

SUBROUTINE CONQ4(AQQ,BQ4,NQ4,KQ4,I1,J1)
DIMENSION AQQ(630,4),BQ4(256),NQ4(256)
A4=0

KQ4=KQ4+1
BQ4(KQ4)=AQQ(I1,J1)
IF(KQ4-1)45,45,40

40 DO 43 I14=1,KQ4-1
IF(BQ4(KQ4)-BQ4(I14))43,42,41
41 A4=BQ4(KQ4)

BQ4(KQ4)=BQ4(I14)
BQ4(I14)=A4
NA4=NQ4(KQ4)

NQ4(KQ4)=NQ4(I14)
NQ4(I14)=NA4

43 CONTINUE
GO TO 45
42 NQ4(I14)=NQ4(I14)+1

KQ4=KQ4-1
45 RETURN

STOP
END

```

) DIMENSION AQ(630,4),BN1(9910),NC1(9910)
) A1=0.
) K1=K1+1
) BN1(K1)=AQ(I1,J1)
) IF(K1-1)15,15,10
10 DO 13 I11=1,K1-1
) IF(BN1(K1)-BN1(I11))13,12,11
11 A1=BN1(K1)
) BN1(K1)=BN1(I11)
) BN1(I11)=A1
) N1=NC1(K1)
) NC1(K1)=NC1(I11)
) NC1(I11)=N1
13 CONTINUE
) GO TO 15
12 NC1(I11)=NC1(I11)+1
) K1=K1-1
15 RETURN
) STOP
) END

) SUBROUTINE RSN (IX,SREF)
) IF(N-2)1,2,21
21 IF(N-4)3,4,22
22 IF(N-6)5,6,23
23 IF(N-8)7,8,24
24 IF(N-10)9,10,25
25 IF(N-12)11,12,26
26 IF(N-14)13,14,1
1 SREF=35.386
) GO TO 27
2 SREF=34.514
) GO TO 27
3 SREF=34.330
) GO TO 27
4 SREF=33.473
) GO TO 27
5 SREF=0.
) GO TO 27
6 SREF=33.091
) GO TO 27
7 SREF=0.
) GO TO 27
8 SREF=31.392
) GO TO 27
9 SREF=0.
) GO TO 27
10 SREF=0.
) GO TO 27
11 SREF=31.493
) GO TO 27
12 SREF=0.
) GO TO 27
13 SREF=0.
) GO TO 27
14 SREF=0.
) GO TO 27
15 SREF=34.182
27 RETURN
) STOP
) END

) SUBROUTINE CONT2(AQ,BN2,NC2,K2,I1,J1)
) DIMENSION AQ(630,4),BN2(9910),NC2(9910)
) A2=0.
) K2=K2+1
) BN2(K2)=AQ(I1,J1)
) IF(K2-1)25,25,20
20 DO 23 I12=1,K2-1
) IF(BN2(K2)-BN2(I12))23,22,21
21 A2=BN2(K2)
) BN2(K2)=BN2(I12)
) BN2(I12)=A2
) N2=NC2(K2)
) NC2(K2)=NC2(I12)
) NC2(I12)=N2
23 CONTINUE
) GO TO 25
22 NC2(I12)=NC2(I12)+1
) K2=K2-1
25 RETURN
) STOP

```

```

SUBROUTINE LEI1(QE, QD)
DIMENSION QE(128), QD(128)
C  LADO ESQUERDO:
QE(1)=0.9930
QE(2)=0.9910
QE(3)=0.9900
QE(4)=0.9890
QE(5)=0.9880
QE(6)=0.9870
QE(7)=0.9860
QE(8)=0.9850
QE(9)=0.9840
QE(10)=0.9830
QE(11)=0.9810
QE(12)=0.9770
QE(13)=0.9740
QE(14)=0.9720
QE(15)=0.9700
QE(16)=0.9640
QE(17)=0.9600
QE(18)=0.9550
QE(19)=0.9500
QE(20)=0.9420
QE(21)=0.9330
QE(22)=0.9200
QE(23)=0.9080
QE(24)=0.8960
QE(25)=0.8830
QE(26)=0.8700
QE(27)=0.8550
QE(28)=0.8400
QE(29)=0.8180
QE(30)=0.8000
QE(31)=0.7200
QE(32)=0.6000
QE(33)=0.4700
QE(34)=0.3000
QE(35)=0.0000
QE(36)=0.0000
C  LADO DIREITO
QD(1)=1.007
QD(2)=1.009
QD(3)=1.011
QD(4)=1.013
QD(5)=1.015
QD(6)=1.017
QD(7)=1.018
QD(8)=1.019
QD(9)=1.020
QD(10)=1.021
QD(11)=1.022
QD(12)=1.023
QD(13)=1.024
QD(14)=1.025
QD(15)=1.027
QD(16)=1.028
QD(17)=1.029
QD(18)=1.030
QD(19)=1.032

```

```

SUBROUTINE LEI2(QE, QD)
DIMENSION QE(128), QD(128)
C  LADO ESQUERDO
QE(1)=0.9920
QE(2)=0.9900
QE(3)=0.9885
QE(4)=0.9873
QE(5)=0.9861
QE(6)=0.9850
QE(7)=0.9840
QE(8)=0.9830
QE(9)=0.9815
QE(10)=0.9800
QE(11)=0.9780
QE(12)=0.9760
QE(13)=0.9730
QE(14)=0.9690
QE(15)=0.9630
QE(16)=0.9560
QE(17)=0.9490
QE(18)=0.9410
QE(19)=0.9320
QE(20)=0.9220
QE(21)=0.9090
QE(22)=0.8920
QE(23)=0.8670
QE(24)=0.8530
QE(25)=0.8400
QE(26)=0.8200
QE(27)=0.7940
QE(28)=0.7640
QE(29)=0.7200
QE(30)=0.6000
QE(31)=0.5000
QE(32)=0.2800
QE(33)=0.0000
QE(34)=0.0000
C  LADO DIREITO
QD(1)=1.007
QD(2)=1.009
QD(3)=1.010
QD(4)=1.011
QD(5)=1.013
QD(6)=1.014
QD(7)=1.015
QD(8)=1.017
QD(9)=1.020
QD(10)=1.023
QD(11)=1.025
QD(12)=1.027
QD(13)=1.029
QD(14)=1.031
QD(15)=1.034
QD(16)=1.038
QD(17)=1.042
QD(18)=1.047
QD(19)=1.055
QD(20)=1.063
QD(21)=1.084

```

```

QD(22)=1.040
QD(23)=1.042
QD(24)=1.044
QD(25)=1.047
QD(26)=1.050
QD(27)=1.053
QD(28)=1.057
QD(29)=1.061
QD(30)=1.082
QD(31)=1.140
QD(32)=1.280
QD(33)=1.560
QD(34)=2.000
QD(35)=2.000
QD(36)=2.000
DO 2 IC=37,128
QD(IC)=2.00
QE(IC)=0.00
RETURN
STOP
END

```

2

```

SUBROUTINE LEI3(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)

```

```

C LADD EZQUERDO
QE(1)=0.995
QE(2)=0.990816
QE(3)=0.987674
QE(4)=0.98334
QE(5)=0.980296
QE(6)=0.978888
QE(7)=0.977634
QE(8)=0.973586
QE(9)=0.968750
QE(10)=0.952752
QE(11)=0.93613688
QE(12)=0.8971964
QE(13)=0.8528035
QE(14)=0.8333333
QE(15)=0.813863
QE(16)=0.7861368
QE(17)=0.5471964
QE(18)=0.3500000
QE(19)=0.2000
QE(20)=0.0000

```

C

```

LADD DIREITO
QD(1)=1.005
QD(2)=1.007092
QD(3)=1.012326
QD(4)=1.0166667
QD(5)=1.019697
QD(6)=1.023781
QD(7)=1.027501
QD(8)=1.034999
QD(9)=1.045001
QD(10)=1.060263

```

```

QD(21)=1.100
QD(25)=1.220
QD(26)=1.310
QD(27)=1.400
QD(28)=1.500
QD(29)=1.610
QD(30)=1.720
QD(31)=1.830
QD(32)=2.000
QD(33)=2.00
QD(34)=2.00
DO 2 IC=35,128
QD(IC)=2.00
QE(IC)=0.00
RETURN
STOP
END

```

2

```

SUBROUTINE LEI4(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)

```

```

C LADD EZQUERDO
QE(1)=0.990
QE(2)=0.987777
QE(3)=0.983333
QE(4)=0.976742
QE(5)=0.972443
QE(6)=0.967742
QE(7)=0.961538
QE(8)=0.952381
QE(9)=0.944186
QE(10)=0.92667
QE(11)=0.70000
QE(12)=0.00000
QE(13)=0.00000

```

C

```

LADD DIREITO
QD(1)=1.01
QD(2)=1.015373
QD(3)=1.018556
QD(4)=1.023256
QD(5)=1.027027
QD(6)=1.03225
QD(7)=1.038462
QD(8)=1.047619
QD(9)=1.064000
QD(10)=1.080000
QD(11)=1.45000
QD(12)=2.00000
QD(13)=2.00000
DO 2 IC=14,128
QD(IC)=2.0000
QE(IC)=0.000
RETURN
STOP
END

```

2

```

QD(11)=1.073071
QD(12)=1.093589
QD(13)=1.128632
QD(14)=1.2070818
QD(15)=1.3000000
QD(16)=1.4200000
QD(17)=1.5800000
QD(18)=1.7500000
QD(19)=2.0000000
QD(20)=255.00 ,
DO 2 IC=21,128
QD(IC)=255.00
QE(IC)=0.000
RETURN
STOP
END

```

2

```

SUBROUTINE LE15(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)

```

```

C LADO ESQUERDO
QE(1)=0.9920
QE(2)=0.9900
QE(3)=0.9885
QE(4)=0.9873
QE(5)=0.9861
QE(6)=0.9850
QE(7)=0.9840
QE(8)=0.9830
QE(9)=0.9815
QE(10)=0.9800
QE(11)=0.9780
QE(12)=0.9760
QE(13)=0.9730
QE(14)=0.9680
QE(15)=0.9630
QE(16)=0.9560
QE(17)=0.9490
QE(18)=0.9410
QE(19)=0.9320
QE(20)=0.9220
QE(21)=0.9090
QE(22)=0.8820
QE(23)=0.8670
QE(24)=0.8530
QE(25)=0.8400
QE(26)=0.8200
QE(27)=0.7940
QE(28)=0.7640
QE(29)=0.7200
QE(30)=0.6000
QE(31)=0.5000
QE(32)=0.2800
QE(33)=0.1400
QE(34)=0.0000

```

C

```

LADO DIREITO
QD(1)=1.007
QD(2)=1.009
QD(3)=1.010

```

```

SUBROUTINE LE16(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)
C LADO ESQUERDO
QE(1)=0.9950
QE(2)=0.9910
QE(3)=0.9900
QE(4)=0.9880
QE(5)=0.9800
QE(6)=0.9840
QE(7)=0.9810
QE(8)=0.9740
QE(9)=0.9700
QE(10)=0.9600
QE(11)=0.9500
QE(12)=0.9400
QE(13)=0.9300
QE(14)=0.8900
QE(15)=0.8750
QE(16)=0.8000
QE(17)=0.7000
QE(18)=0.5000
QE(19)=0.0000
C LADO DIREITO
QD(1)=1.001
QD(2)=1.009
QD(3)=1.013
QD(4)=1.017
QD(5)=1.011
QD(6)=1.021
QD(7)=1.023
QD(8)=1.025
QD(9)=1.021
QD(10)=1.030
QD(11)=1.034
QD(12)=1.042
QD(13)=1.055
QD(14)=1.070
QD(15)=1.100
QD(16)=1.500
QD(17)=2.000
QD(18)=2.000
DO 2 IC=19,128
QD(IC)=2.00
QE(1)=0.00
RETURN
STOP
END

```

2

```

QD(4)=1.011
QD(5)=1.014
QD(6)=1.013
QD(7)=1.015
QD(8)=1.017
QD(9)=1.020
QD(10)=1.023
QD(11)=1.025
QD(12)=1.027
QD(13)=1.029
QD(14)=1.031
QD(15)=1.034
QD(16)=1.038
QD(17)=1.042
QD(18)=1.048
QD(19)=1.055
QD(20)=1.063
QD(21)=1.084
QD(22)=1.100
QD(23)=1.120
QD(24)=1.160
QD(25)=1.220
QD(26)=1.310
QD(27)=1.400
QD(28)=1.470
QD(29)=1.540
QD(30)=1.650
QD(31)=1.740
QD(32)=1.810
QD(33)=1.900
QD(34)=2.000
DO 2 IC=35,128
QD(IC)=2.00
2  QE(IC)=0.00
RETURN
STOP
END

```

```

SUBROUTINE LEI7(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)
C LADO ELQUERDO
QE(1)=0.9950
QE(2)=0.9910
QE(3)=0.9900
QE(4)=0.9880
QE(5)=0.9860
QE(6)=0.9840
QE(7)=0.9810
QE(8)=0.9740
QE(9)=0.9700
QE(10)=0.9600
QE(11)=0.9500

```

```

SUBROUTINE LEI8(QE,QD)
DIMENSION QE(128),QD(128)
C LADO ELQUERDO
QE(1)=0.9900
QE(2)=0.9800
QE(3)=0.9885
QE(4)=0.9973
QE(5)=0.9861
QE(6)=0.9850
QE(7)=0.9840
QE(8)=0.9830
QE(9)=0.9815
QE(10)=0.9800
QE(11)=0.9780
QE(12)=0.9760
QE(13)=0.9730
QE(14)=0.9680
QE(15)=0.9630
QE(16)=0.9500
QE(17)=0.9490
QE(18)=0.9410
QE(19)=0.9320
QE(20)=0.9220
QE(21)=0.9090
QE(22)=0.8820
QE(23)=0.870
QE(24)=0.8530
QE(25)=0.8400
QE(26)=0.8200
QE(27)=0.7940
QE(28)=0.7640
QE(29)=0.7200
QE(30)=0.6000
QE(31)=0.5000
QE(32)=0.2800
QE(33)=0.0600
QE(34)=0.0000
C LADO DIREITO
QD(1)=1.007
QD(2)=1.009
QD(3)=1.010
QD(4)=1.011
QD(5)=1.012
QD(6)=1.012
QD(7)=1.014
QD(8)=1.016
QD(9)=1.018
QD(10)=1.020
QD(11)=1.022
QD(12)=1.024
QD(13)=1.026
QD(14)=1.028
QD(15)=1.030
QD(16)=1.033
QD(17)=1.036
QD(18)=1.040
QD(19)=1.045

```

QE(12)=0.9500
 QE(12)=0.9080
 QE(13)=0.8900
 QE(14)=0.8750
 QE(15)=0.8000
 QE(16)=0.7000
 QE(17)=0.5000
 QE(18)=0.0000

LADO DIREITO

QD(1)=1.005
 QD(2)=1.009
 QD(3)=1.013
 QD(4)=1.017
 QD(5)=1.019
 QD(6)=1.021
 QD(7)=1.023
 QD(8)=1.025
 QD(9)=1.028
 QD(10)=1.030
 QD(11)=1.034
 QD(12)=1.040
 QD(13)=1.050
 QD(14)=1.060
 QD(15)=1.090
 QD(16)=1.300
 QD(17)=1.600
 QD(18)=2.000
 QD(19)=255.00
 DO 2 IC=20,128
 QD(10)=255.00
 QE(10)=0.000
 RETURN
 STOP
 END

SUBROUTINE LEI9(QE,QD)
 DIMENSION QE(128),QD(128)
 QE(1)=0.9940
 QE(2)=0.9920
 QE(3)=0.9910
 QE(4)=0.9905
 QE(5)=0.9900
 QE(6)=0.9895
 QE(7)=0.9890
 QE(8)=0.9885
 QE(9)=0.9880
 QE(10)=0.9875
 QE(11)=0.9870
 QE(12)=0.9865
 QE(13)=0.9860
 QE(14)=0.9855
 QE(15)=0.9850
 QE(16)=0.9845
 QE(17)=0.9840
 QE(18)=0.9835
 QE(19)=0.9830
 QE(20)=0.9825
 QE(21)=0.9820

QD(21)=1.050
 QD(21)=1.057
 QD(21)=1.062
 QD(21)=1.072
 QD(21)=1.085
 QD(21)=1.100
 QD(21)=1.120
 QD(21)=1.150
 QD(21)=1.200
 QD(21)=1.280
 QD(31)=1.380
 QD(31)=1.520
 QD(31)=1.700
 QD(31)=2.000
 QD(31)=2.000
 DO 2 IC=35,128
 QD(10)=2.00
 QE(10)=0.00
 RETURN
 STOP
 END

QE(22)=0.9810
 QE(23)=0.9780
 QE(24)=0.9770
 QE(25)=0.9760
 QE(26)=0.9740
 QE(27)=0.9730
 QE(28)=0.9710
 QE(29)=0.9700
 QE(30)=0.9680
 QE(31)=0.9640
 QE(32)=0.9610
 QE(33)=0.9570
 QE(34)=0.9550
 QE(35)=0.9530
 QE(36)=0.9500
 QE(37)=0.9460
 QE(38)=0.9400
 QE(39)=0.9350
 QE(40)=0.9270
 QE(41)=0.9200
 QE(42)=0.9150
 QE(43)=0.9060
 QE(44)=0.8940
 QE(45)=0.8880
 QE(46)=0.8700
 QE(47)=0.8600
 QE(48)=0.8500
 QE(49)=0.8400
 QE(50)=0.8280
 QE(51)=0.8150
 QE(52)=0.8020
 QE(53)=0.7980
 QE(54)=0.7800
 QE(55)=0.7640
 QE(56)=0.7460
 QE(57)=0.7330
 QE(58)=0.7200
 QE(59)=0.7000
 QE(60)=0.6400
 QE(61)=0.5600
 QE(62)=0.4400
 QE(63)=0.2800
 QE(64)=0.0400
 QE(65)=0.0000
 QE(66)=0.0000

LADO DIREITO

QD(1)=1.006
 QD(2)=1.007
 QD(3)=1.008
 QD(4)=1.009
 QD(5)=1.010
 QD(6)=1.011
 QD(7)=1.012
 QD(8)=1.013
 QD(9)=1.014
 QD(10)=1.015
 QD(11)=1.016
 QD(12)=1.017
 QD(13)=1.018

QD(14)=1.0185
 QD(15)=1.019
 QD(16)=1.0195
 QD(17)=1.020
 QD(18)=1.0205
 QD(19)=1.021
 QD(20)=1.0215
 QD(21)=1.022
 QD(22)=1.0225
 QD(23)=1.023
 QD(24)=1.0235
 QD(25)=1.024
 QD(26)=1.0255
 QD(27)=1.027
 QD(28)=1.028
 QD(29)=1.029
 QD(30)=1.030
 QD(31)=1.031
 QD(32)=1.032
 QD(33)=1.033
 QD(34)=1.034
 QD(35)=1.036
 QD(36)=1.038
 QD(37)=1.040
 QD(38)=1.042
 QD(39)=1.043
 QD(40)=1.045
 QD(41)=1.048
 QD(42)=1.052
 QD(43)=1.054
 QD(44)=1.057
 QD(45)=1.065
 QD(46)=1.070
 QD(47)=1.085
 QD(48)=1.095
 QD(49)=1.117
 QD(50)=1.133
 QD(51)=1.147
 QD(52)=1.161
 QD(53)=1.177
 QD(54)=1.193
 QD(55)=1.211
 QD(56)=1.231
 QD(57)=1.250
 QD(58)=1.275
 QD(59)=1.350
 QD(60)=1.450
 QD(61)=1.570
 QD(62)=1.700
 QD(63)=1.850
 QD(64)=1.930
 QD(65)=2.000
 QD(66)=2.000
 DD 2 IC=67,128
 QD(IC)=2.0000
 QE(IC)=0.0000
 RETURN
 STOP
 END

CWFCO4V1P2*

DOOROUTINE COEF8(IZ0,IZ1,IZ2,IZ3,AP0,AP1,AP2,AP3,BP0,BP1,CP2,
2 BP3,CP0,CP1,CP2,CP3)

LOGICAL Z0,Z1,Z2,Z3

DIMENSION AP0(12),AP1(12),AP2(12),AP3(12),BP0(12),BP1(12),

3 BP2(12),BP3(12),CP0(12),CP1(12),CP2(12),CP3(12),Z0(40),

4 Z1(40),Z2(40),Z3(40)

DO 7000 ICF=1,12

AP0(ICF)=0.

AP1(ICF)=0.

AP2(ICF)=0.

AP3(ICF)=0.

BP0(ICF)=0.

BP1(ICF)=0.

BP2(ICF)=0.

BP3(ICF)=0.

CP0(ICF)=0.

CP1(ICF)=0.

CP2(ICF)=0.

CP3(ICF)=0.

7000 CONTINUE

DO 8000 IZP=1,40

Z0(IZP)=.FALSE.

Z1(IZP)=.FALSE.

Z2(IZP)=.FALSE.

Z3(IZP)=.FALSE.

8000 CONTINUE

LZ0=IZ0-8000

LZ1=IZ1-8100

LZ2=IZ2-8200

LZ3=IZ3-8300

Z0(LZ0)=.TRUE.

Z1(LZ1)=.TRUE.

Z2(LZ2)=.TRUE.

Z3(LZ3)=.TRUE.

IF(Z0(1))GO TO 8001

IF(Z0(2))GO TO 8002

IF(Z0(3))GO TO 8003

IF(Z0(4))GO TO 8004

IF(Z0(5))GO TO 8005

IF(Z0(6))GO TO 8006

IF(Z0(7))GO TO 8007

IF(Z0(8))GO TO 8008

IF(Z0(9))GO TO 8009

IF(Z0(10))GO TO 8010

IF(Z0(11))GO TO 8011

IF(Z0(12))GO TO 8012

IF(Z0(13))GO TO 8013

IF(Z0(14))GO TO 8014

IF(Z0(15))GO TO 8015

IF(Z0(16))GO TO 8016

IF(Z0(17))GO TO 8017

IF(Z0(18))GO TO 8018

IF(Z0(19))GO TO 8019

IF(Z0(20))GO TO 8020

IF(Z0(21))GO TO 8021

IF(Z0(22))GO TO 8022

IF(Z0(23))GO TO 8023

IF(Z0(24))GO TO 8024

IF(Z0(25))GO TO 8025

```

IF(Z0(26))GO TO 8026
IF(Z0(27))GO TO 8027
IF(Z0(28))GO TO 8028
IF(Z0(29))GO TO 8029
IF(Z0(30))GO TO 8030
8001 APO(4)=1.
GO TO 8100
8002 BPO(7)=1
GO TO 8100
8003 BPO(1)=1.
GO TO 8100
8004 BPO(5)=1.
GO TO 8100
8005 APO(6)=-1./3.
BPO(7)=4./3.
GO TO 8100
8006 BPO(7)=2.
CPO(9)=-1.
GO TO 8100
8007 BPO(7)=2./3.
CPO(1)=1./3.
GO TO 8100
8008 APO(2)=1.
APO(4)=-1.
APO(5)=1.
GO TO 8100
8009 APO(1)=1.
APO(4)=-1.
APO(5)=1.
GO TO 8100
8010 APO(2)=-1.
BPO(5)=1.
BPO(7)=1.
GO TO 8100
8011 APO(1)=1.
BPO(5)=-1.
BPO(7)=1.
GO TO 8100
8012 APO(1)=0.5
BPO(5)=-0.5
BPO(7)=1.
GO TO 8100
8013 APO(5)=-0.5
BPO(4)=0.5
BPO(7)=1.
GO TO 8100
8014 APO(4)=-1./3.
BPO(3)=1./3.
BPO(7)=1.
GO TO 8100
8015 APO(1)=1.
CPO(1)=-1.
CPO(5)=1.
GO TO 8100
8016 APO(1)=1.
APO(4)=-1.
CPO(5)=1.
GO TO 8100
8017 APO(2)=1.
APO(4)=-1.

```

```

CPO(7)=1.
GO TO 8100
8018 APO(2)=1.
CPO(5)=-1.
CPO(7)=1.
GO TO 8100
8019 BPO(3)=1.
BPO(7)=1.
CPO(5)=-1.
GO TO 8100
8020 BPO(4)=1.
BPO(7)=1.
CPO(4)=-1.
GO TO 8100
8021 BPO(5)=-1.
BPO(7)=1.
CPO(3)=1.
GO TO 8100
8022 CPO(2)=1.
CPO(5)=-1.
CPO(6)=1.
GO TO 8100
8023 BPO(5)=1.
CPO(5)=-1.
CPO(7)=1.
GO TO 8100
8024 APO(4)=-0.5
BPO(7)=1.
CPO(5)=0.5
GO TO 8100
8025 APO(4)=-1.
CPO(5)=1.
CPO(9)=1.
GO TO 8100
8026 CPO(3)=1.
CPO(5)=-1.
CPO(7)=1.
GO TO 8100
8027 BPO(4)=1.
BPO(8)=1.
CPO(5)=-1.
GO TO 8100
8028 APO(4)=-1.
BPO(5)=1.
BPO(9)=1.
GO TO 8100
8029 APO(1)=1.
GO TO 8100
8030 BPO(5)=1.
GO TO 8100
8100 IF(Z1(1))GO TO 8101
IF(Z1(2))GO TO 8102
IF(Z1(3))GO TO 8103
IF(Z1(4))GO TO 8104
IF(Z1(5))GO TO 8105
IF(Z1(6))GO TO 8106
IF(Z1(7))GO TO 8107
IF(Z1(8))GO TO 8108
IF(Z1(9))GO TO 8109
IF(Z1(10))GO TO 8110

```

```

IF(Z1(11))GO TO 8111
IF(Z1(12))GO TO 8112
IF(Z1(13))GO TO 8113
IF(Z1(14))GO TO 8114
IF(Z1(15))GO TO 8115
IF(Z1(16))GO TO 8116
IF(Z1(17))GO TO 8117
IF(Z1(18))GO TO 8118
IF(Z1(19))GO TO 8119
IF(Z1(20))GO TO 8120
IF(Z1(21))GO TO 8121
IF(Z1(22))GO TO 8122
IF(Z1(23))GO TO 8123
IF(Z1(24))GO TO 8124
IF(Z1(25))GO TO 8125
IF(Z1(26))GO TO 8126
IF(Z1(27))GO TO 8127
IF(Z1(28))GO TO 8128
IF(Z1(29))GO TO 8129
IF(Z1(30))GO TO 8130
8101 AP1(7)=1.
GO TO 8200
8102 BP1(8)=1.
GO TO 8200
8103 BP1(10)=1.
GO TO 8200
8104 BP1(5)=1.
GO TO 8200
8105 AP1(9)=0.5
BP1(5)=0.5
GO TO 8200
8106 BP1(6)=0.5
CP1(10)=0.5
GO TO 8200
8107 BP1(6)=0.5
CP1(3)=0.5
GO TO 8200
8108 AP1(3)=1.
AP1(5)=-1.
AP1(7)=1.
GO TO 8200
8109 AP1(2)=1.
AP1(5)=-1.
AP1(6)=1.
GO TO 8200
8110 AP1(2)=1.
BP1(5)=-1.
BP1(6)=1.
GO TO 8200
8111 AP1(3)=-1.
BP1(4)=1.
BP1(6)=1.
GO TO 8200
8112 AP1(1)=0.5
BP1(5)=-0.5
BP1(6)=1.
GO TO 8200
8113 AP1(3)=-0.5
BP1(4)=0.5
BP1(6)=1.

```

```

GO TO 8200
8114 AP1(4)=-1.
CP1(3)=1.
BP1(6)=1.
GO TO 8200
8115 AP1(2)=1.
CP1(6)=-1.
CP1(7)=1.
GO TO 8200
8116 AP1(2)=1.
AP1(5)=-1.
CP1(7)=1.
GO TO 8200
8117 AP1(3)=1.
AP1(5)=-1.
CP1(6)=1.
GO TO 8200
8118 AP1(3)=1.
CP1(6)=-1.
CP1(8)=1.
GO TO 8200
8119 BP1(4)=1.
BP1(3)=1.
CP1(6)=-1.
GO TO 8200
8120 BP1(4)=1.
BP1(6)=1.
CP1(4)=-1.
GO TO 8200
8121 BP1(3)=1.
BP1(8)=1.
CP1(3)=-1.
GO TO 8200
8122 BP1(6)=1.
BP1(8)=-1./3.
CP1(8)=1./3.
GO TO 8200
8123 BP1(5)=1.
CP1(6)=-1.
CP1(7)=1.
GO TO 8200
8124 AP1(4)=-1.
BP1(6)=1.
CP1(5)=1.
GO TO 8200
8125 AP1(5)=-1.
CP1(6)=1.
CP1(10)=1.
GO TO 8200
8126 BP1(3)=1.
BP1(6)=1.
CP1(5)=-1.
GO TO 8200
8127 BP1(7)=1.
CP1(5)=1.
CP1(6)=-1.
GO TO 8200
8128 AP1(1)=1.
BP1(5)=1.
BP1(10)=-1.

```

GO TO 8200
 8129 AP1(2)=1.
 GO TO 8200
 8130 CP1(2)=1.
 GO TO 8200
 8200 IF(Z2(1))GO TO 8201
 IF(Z2(2))GO TO 8202
 IF(Z2(3))GO TO 8203
 IF(Z2(4))GO TO 8204
 IF(Z2(5))GO TO 8205
 IF(Z2(6))GO TO 8206
 IF(Z2(7))GO TO 8207
 IF(Z2(8))GO TO 8208
 IF(Z2(9))GO TO 8209
 IF(Z2(10))GO TO 8210
 IF(Z2(11))GO TO 8211
 IF(Z2(12))GO TO 8212
 IF(Z2(13))GO TO 8213
 IF(Z2(14))GO TO 8214
 IF(Z2(15))GO TO 8215
 IF(Z2(16))GO TO 8216
 IF(Z2(17))GO TO 8217
 IF(Z2(18))GO TO 8218
 IF(Z2(19))GO TO 8219
 IF(Z2(20))GO TO 8220
 IF(Z2(21))GO TO 8221
 IF(Z2(22))GO TO 8222
 IF(Z2(23))GO TO 8223
 IF(Z2(24))GO TO 8224
 IF(Z2(25))GO TO 8225
 IF(Z2(26))GO TO 8226
 IF(Z2(27))GO TO 8227
 IF(Z2(28))GO TO 8228
 IF(Z2(29))GO TO 8229
 IF(Z2(30))GO TO 8230
 IF(Z2(31))GO TO 8231
 8201 AP2(5)=1.
 GO TO 8300
 8202 BP2(5)=1.
 GO TO 8300
 8203 BP2(3)=1.
 GO TO 8300
 8204 BP2(7)=1.
 GO TO 8300
 8205 AP2(10)=0.5
 BP2(5)=0.5
 GO TO 8300
 8206 BP2()=0.5
 CP2(11)=0.5
 GO TO 8300
 8207 BP2(5)=0.5
 CP2(3)=0.5
 GO TO 8300
 8208 AP2(4)=1.
 AP2(5)=-1.
 AP2()=1.
 GO TO 8300
 8209 AP2(3)=1.
 AP2(6)=-1.
 AP2(7)=1.

8210 AP2(3)=1.
 BP2(4)=-1.
 BP2(5)=1.
 GO TO 8300
 8211 AP2(4)=1./3.
 BP2(5)=-1./3.
 BP2(5)=1.
 GO TO 8300
 8212 AP2(3)=1.
 BP2()=1.
 BP2(9)=-1.
 GO TO 8300
 8213 AP2(4)=1.
 BP2(7)=1.
 BP2(9)=-1.
 GO TO 8300
 8214 AP2(5)=1.
 BP2()=1.
 BP2(9)=-1.
 GO TO 8300
 8215 AP2(3)=1.
 CP2(7)=-1.
 CP2(8)=1.
 GO TO 8300
 8216 AP2(3)=1.
 AP2(5)=-1.
 CP2(6)=1.
 GO TO 8300
 8217 AP2(4)=1.
 AP2(6)=-1.
 CP2(9)=1.
 GO TO 8300
 8218 AP2(4)=1.
 CP2(7)=-1.
 CP2(9)=1.
 GO TO 8300
 8219 BP2(5)=1.
 BP2(9)=1.
 CP2(7)=-1.
 GO TO 8300
 8220 BP2(4)=1.
 BP2(5)=1.
 CP2(4)=-1.
 GO TO 8300
 8221 BP2(6)=1.
 CP2(2)=1.
 CP2(7)=-1.
 GO TO 8300
 8222 BP2(7)=1.
 CP2(5)=1.
 CP2(7)=-1.
 GO TO 8300
 8223 AP2(3)=2./3.
 BP2()=2./3.
 CP2(7)=-1.
 GO TO 8300
 8224 AP2(4)=0.5
 BP2()=1.
 CP2(5)=-0.5

8225	GO TO 8300	8304	GO TO 8400	
	AP2(1)=-1.		BP3(4)=1.	
	CP2(7)=1.		GO TO 8400	
	CP2(11)=1.	8305	AP3(11)=0.5	
8226	GO TO 8300		BP3(4)=0.5	
	BP2(5)=-1.		GO TO 8400	
	BP2(5)=1.	8306	BP3(4)=0.5	
	CP2(5)=1.		BP3(12)=0.5	
	GO TO 8300		GO TO 8400	
8227	BP2(6)=1.	8307	CP3(4)=0.5	8320
	BP2(9)=-1.		CP3(12)=0.5	AP3(4)=1.
	CP2(5)=1.		GO TO 8400	BP3(7)=1.
	GO TO 8300	8308	AP3(5)=1.	CP3(8)=-1.
8228	AP2(6)=-1.		AP3(7)=-1.	GO TO 8400
	BP2(7)=1.		AP3(9)=1.	8321
	BP2(11)=1.		GO TO 8400	AP3(5)=1.
	GO TO 8300	8309	AP3(4)=1.	BP3(6)=1.
8229	AP2(5)=1.		AP3(7)=-1.	CP3(5)=-1.
	GO TO 8300		AP3(9)=1.	GO TO 8400
8230	BP2(7)=1.		GO TO 8400	8322
	GO TO 8300	8310	AP3(4)=1.	BP3(5)=1.
8231	AP2(6)=1.		BP3(7)=1.	BP3(5)=-1.
	BP2(6)=1.		BP3(8)=-1.	BP3(10)=1.
	BP2(9)=-1.		GO TO 8400	GO TO 8400
	GO TO 8300	8311	AP3(5)=1.	8323
8300	IF(Z3(1))GO TO 8301		BP3(6)=1.	BP3(6)=-1.
	IF(Z3(2))GO TO 8302		BP3(8)=-1.	CP3(10)=1.
	IF(Z3(3))GO TO 8303		GO TO 8400	GO TO 8400
	IF(Z3(4))GO TO 8304	8312	AP3(6)=1.	BP3(8)=-1.
	IF(Z3(5))GO TO 8305		BP3(5)=1.	CP3(11)=1.
	IF(Z3(6))GO TO 8306		BP3(8)=-1.	GO TO 8400
	IF(Z3(7))GO TO 8307		GO TO 8400	8325
	IF(Z3(8))GO TO 8308	8313	AP3(6)=-2.	AP3(7)=-1.
	IF(Z3(9))GO TO 8309		BP3(9)=2.	CP3(5)=1.
	IF(Z3(10))GO TO 8310		BP3(12)=1.	CP3(12)=1.
	IF(Z3(11))GO TO 8311		GO TO 8400	GO TO 8400
	IF(Z3(12))GO TO 8312	8314	AP3(5)=1.	8326
	IF(Z3(13))GO TO 8313		BP3(10)=-1.	AP3(4)=3./4.
	IF(Z3(14))GO TO 8314		BP3(12)=1.	BP3(6)=-1.
	IF(Z3(15))GO TO 8315		GO TO 8400	CP3(9)=3./4.
	IF(Z3(16))GO TO 8316	8315	AP3(5)=1.	GO TO 8400
	IF(Z3(17))GO TO 8317		CP3(8)=-1.	8327
	IF(Z3(18))GO TO 8318		CP3(9)=1.	BP3(8)=1.
	IF(Z3(19))GO TO 8319		GO TO 8400	BP3(12)=1.
	IF(Z3(20))GO TO 8320	8316	AP3(4)=1.	CP3(8)=-1.
	IF(Z3(21))GO TO 8321		AP3(7)=-1.	GO TO 8400
	IF(Z3(22))GO TO 8322		CP3(9)=1.	8328
	IF(Z3(23))GO TO 8323		GO TO 8400	AP3(7)=-1.
	IF(Z3(24))GO TO 8324	8317	AP3(5)=1.	BP3(5)=1.
	IF(Z3(25))GO TO 8325		AP3(7)=-1.	BP3(12)=1.
	IF(Z3(26))GO TO 8326		CP3(10)=1.	GO TO 8400
	IF(Z3(27))GO TO 8327		GO TO 8400	8329
	IF(Z3(28))GO TO 8328	8318	AP3(5)=1.	AP3(4)=1.
	IF(Z3(29))GO TO 8329		CP3(8)=-1.	GO TO 8400
	IF(Z3(30))GO TO 8330		CP3(10)=1.	8330
8301	AP3(5)=1.		GO TO 8400	BP3(6)=1.
	GO TO 8400	8319	BP3(8)=1.	GO TO 8400
8302	BP3(12)=1.		BP3(10)=1.	
	GO TO 8400		CP3(8)=-1.	
				8400
				RETURN
				STOP
				END

```

C      PROGRAMA ESCRIBE TODOS LOS NUMEROS DO QUOCIENTE
C      ONDE O NUMERADOR E (0-255) E DENOMINADOR E (1-255)
C      ORDENANDO A SEQUENCA DE MAIOR PARA MENOR E AS
C      VECES QUE SE REPITE CADA NUMERO.
C
C      ****PROGRAMA MATRIZ DIVISION DE SMPTE****
C      INTEGER N1,N2,N3,I3,K,M,L4
C      INTEGER NC(65280),ND(65280),NN(65280),NK(65280)
C      REAL Q(65280),B(65280)
C      REAL A,AA,BA,BB
C      KDE=255
C      KNU=256
C      KN=0
C      LT=KDE*KNU
C      DO 2 I1=1,LT
C      Q(I1)=0.0
C      B(I1)=0.
C      NC(I1)=0
C      ND(I1)=0
C      NN(I1)=0
C      NK(I1)=0
2      CONTINUE
C      N1=0
C      M1=0
C      DO 5 NDE=1,KDE
C      DO 4 N4=1,KNU
C      NUM=N4-1
C      N1=N1+1
C      Q1=(NUM+NDE)/2
C      PRINT*, ' Q1=',Q1
C      MQ=IFIX(FLOAT(NUM+NDE)/2+0.5)
C      PRINT*, 'NDE=',NDE, ' NUM=',NUM, ' MQ=',MQ
C      Q(N1)=FLOAT(NUM)/FLOAT(MQ)
C      C=Q(N1)
C      WRITE(70,3)N1,N3,N2
C3     FORMAT('Q(',115,')=',113,'/',113:)
C      4 CONTINUE
C      5 CONTINUE
C
C      *****NUMERO DE VECES QUE SE REPITE O NUMERO*****
C      LM=1
C      LK=1
C      LJ=0
C      I2=1
C      K=0
C      AA=0.0
C      A=0.0
C      I3=1
C      DO 11 I4=I3,LT
C      IF(Q(I3)-Q(I4))10,9,10
C      9 K=K+1
C      10 CONTINUE
C      11 CONTINUE
C      M1=M1+1
C      B(M1)=Q(I3)
C      ND(M1)=LM
C      NN(M1)=NC(LK)
C      NK(M1)=K
C      AA=Q(I3)
C      PRINT*, 'D=',LK, ' N=',NC(LK), ' B(',M1,')=',AA, ' VS=',K

```

```

WRITE(70,12)LM,NC(LK),I3,AA,K,M1
12  FORMAT('D=',113,3X,'N=',113,3X,'C(',114,')= ',1F15.11,3X,
* 'NUM VECES=',115,2X,'M=',115 : )
K=C
13  I3=I3+1
IF(I3-(LT+1))14,19,14
14  LJ=LJ+1
LK=LK+1
NC(LK)=LJ
IF(LJ-KNU)16,15,15
15  LJ=0
LM=LM+1
16  J1=I3-1
DO 18 I5=1,J1
IF(Q(I3)-Q(I5))18,13,18
18  CONTINUE
IF(I3-(LT))8,19,8
C
C*****ORDENACAO DE MAIOR AO MENOR*****
19  L2=1
N2=2
20  DO 25 L1=N2,M1
IF(B(L2)-B(L1))21,22,22
21  BC=B(L2)
B(L2)=B(L1)
B(L1)=BC
LD=ND(L2)
ND(L2)=ND(L1)
ND(L1)=LD
LE=NN(L2)
NN(L2)=NN(L1)
NN(L1)=LE
LK=NR(L2)
NR(L2)=NR(L1)
NR(L1)=LK
C  PRINT*,NN(L2)
22  CONTINUE
25  CONTINUE
L2=L2+1
N2=L2+1
IF(L2-M1)20,26,26
26  DO 28 L4=1,M1
BA=B(L4)
BB=B(L4)-B(L4+1)
KD=ND(L4)
KE=NR(L4)
KK=NR(L4)
PRINT*,B(' ',L4,')=',6A,' D=',ND(L4),' N=',NN(L4),' VECES=',KK
WRITE(71,27)L4,BA,BB,KD,KE,KK
27  FORMAT('B(',115,')=',1F12.8,3X,'DELTA=',1F12.8,3X,
* 'D=',113,3X,'N=',113,3X,'VEZES=',115 : )
28  CONTINUE
DO 32 L5=1,M1
IF(NK(L5)-12)32,30,30
30  KN=KN+1
WRITE(73,31)KN,L5,B(L5),ND(L5),NN(L5),NK(L5)
31  FORMAT(2X,15,3X,'B(',115,')=',1F12.8,3X,
* 'D=',112,3X,'N=',113,3X,'VEZES=',116 : )
GO TO 32
32  CONTINUE
33  CONTINUE

```

B I B L I O G R A F I A

- BIBLIOGRAFIA -

CAPÍTULO I

- [1.1] - AFONSO DE O. ALONSO, JOÃO B.T. YABU-UTI, NORMONDS ALENS e YUZO IANO - DIGITALIZAÇÃO DE SINAIS DE TV. CONTRATO TELEBRÁS 033/80 - RELATÓRIO TÉCNICO RT-80, Dezembro 1980.
- [1.2] - LIMB, J.O., RUBINSTEINS, C.B. AND THOMPSON, J.E. - "DIGITAL CODING OF COLOUR VIDEO SIGNALS - A REVIEW" - IEEE TRANS ON COMM., vol. COM-25 nº 11, November 1977.
- [1.3] - GODALL, W.W - TELEVISION PULSE CODE MODULATIONS - B.S.T.J., vol 30 nº 1, pp 33,49, January/1961.
- [1.4] - PRATT, W.K. - DIGITAL IMAGE PROCESSING. A. WILEY, INTERSCIENCE PUB., J. WILEY & SONS, 1978.
- [1.5] - NELSON ORLANDO SENATORI - INTRODUÇÃO A TV A CORES, SISTEMA "PAL-M" - vol 1, Princípios, Biblioteca Técnica IBRAPE, 2ª edição 1971.
- [1.6] - BARRETO BAIRD GUILHERME - UM SISTEMA MCPD PARA TRANSMISSÃO DIGITAL DE SINAL DE TV EM CORES COM PREDIÇÃO LINEAR E QUANTIZAÇÃO OTIMIZADA - TESE DE MESTRADO 1989.

CAPÍTULO II

- [2.1] - YUZO IANO, NORMONDS ALENS, AFONSO DE O. ALONSO, JOÃO B.T. YABU-UTI e LUIS C. MARTINI - PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS DE TV POR UM SISTEMA MCPD USANDO PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO - CONTRATO TELEBRÁS 024A/83 RELATÓRIO TÉCNICO RT-134, Fevereiro 1986.
- [2.2] - RATLIFF, P.A. - BIT RATE REDUCTION FOR HIGHT QUALITY DIGITAL TELEVISION TRANSMISSION - BBC RESEARCH DEPARTMENT, UK, September 1978.
- [2.3] - AFONSO DE O. ALONSO, JOÃO B.T. YABU-UTI, NORMANDS ALENS e YUZO IANO - DIGITALIZAÇÃO DE SINAIS DE TV. CONTRATO TELEBRÁS 033/80 - RELATÓRIO TÉCNICO RT-80, Dezembro 1980.
- [2.4] - MAX, JOEL - QUANTIZING FOR MINIMUM DISTORTION. IRE TRANSACTION ON INFORMATION THEORY - vol. IT-6, pp 7-12 Março 1960.

CAPÍTULO III

- [3.1] - MAX, JOEL - QUANTIZING FOR MINIMUM DISTORTION. IRE TRANSACTION ON INFORMATION THEORY - vol. IT-6, pp 7-12 Março 1960.
- [3.2] - YUZO IANO - DIGITALIZAÇÃO DE SINAIS DE TV ATRAVÉS DE UM SISTEMA MCPD USANDO PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO - TESE DE DOUTORADO - UNICAMP, Janeiro 1987.
- [3.3] - INTERIM WORKING PARTY 11/4 "DRAFT REVISION OF RECOMMENDATION 500-3" CCIR STUDDY GROUPS 20 July, 1987.

CAPÍTULO IV

- [4.1] - YUZO IANO - DIGITALIZAÇÃO DE SINAIS DE TV ATRAVÉS DE UM SISTEMA MCPD USANDO PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO - TESE DE DOUTORADO - UNICAMP, Janeiro 1987.
- [4.2] - YUZO IANO, AFONSO DE O. ALONSO, NORMONDS ALENS, JOÃO B.T. YABU-UTI e LUIS C. MARTINI - "PROGRAMAS DE COMPUTADOR PARA SIMULAÇÃO DE PROCESSAMENTOS DIGITAIS DE IMAGENS NO SISTEMA MCPD" - CONTRATO TELEBRÁS 208/87, RT-154.
- [4.3] - YUZO IANO, AFONSO DE O. ALONSO, NORMONDS ALENS, JOÃO B.T. YABU-UTI e LUIS C. MARTINI - "IMAGENS DIGITALIZADAS DA SMPTE ARMAZENADAS EM FITAS MAGNÉTICAS" - CONTRATO TELEBRÁS 208/87, RT-153.