

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DEPARTAMENTO DE COMUNICAÇÕES

O SISTEMA QPCM PARA REDUÇÃO DA TAXA DE BITS DO SINAL DE TV PAL-M COM
PREDIÇÃO SEM TAF E QUANTIZAÇÃO ESTATÍSTICA

Autor : João Batista Rickheim Filho

Orientador : Prof. Dr. Yuzo Iano

Tese apresentada à Faculdade de
Engenharia Elétrica da Universidade
Estadual de Campinas, UNICAMP, como
parte dos requisitos exigidos para
a obtenção do título de "Mestre em
Engenharia Elétrica".

Dezembro 1990

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por João Batista Rickheim Filho

e aprovada pela Comissão
Julgadora em 20 / 12 / 90

Orientador Yuzo Iano

30/9/02550

À MINHA MÃE SNUGLS

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Yuzo Iano pela orientação, pela idéia que originou e oportunidade de realizar este trabalho.

Sou imensamente agradecido à minha mãe pela sua luta, que me possibilitou a realização deste trabalho; pelo seu apoio e incentivo, dados em todos os momentos de minha vida. As minhas irmãs Karin e Xênia agradeço por terem estado sempre ao meu lado, me apoiando e incentivando em todos os momentos, principalmente os difíceis.

À Ana Lúcia agradeço por ter estado comigo, sempre me apoiando e incentivando, em todos os momentos que dela precisei, isso foi muito importante para mim.

Ao meu irmão/amigo Lúcio que a tanto tempo tem estado ao meu lado, agradeço aos incentivos e apoio nos momentos de dúvida.

Agradeço sinceramente a todos os amigos, e foram muitos, que me incentivaram e ajudaram durante todo o decorrer deste trabalho, a amizade tem dentro de mim um valor muito alto.

RESUMO

O assunto deste trabalho é um sistema digital de processamento de imagens para transmissão de sinais de televisão comercial do sistema PAL (Phase Alternated Line) padrão M. O sistema tem por função a redução da taxa de bit de transmissão. Ele é uma variação do Differential Pulse Code Modulation (DPCM), ao qual foi dado o nome Quotient Pulse Code Modulation (QPCM). Foram feitas algumas modificações nas operações realizadas pelo sistema DPCM, porém, manteve-se a mesma estrutura. O sistema QPCM foi implementado em "software" para simulação em ambiente VAX/VMS. Foram implementados alguns preditores e quantizadores para o sistema, porém, estes são usados em esquema fixo. Os preditores são de terceira ordem e usam esquema de predição sem Técnica de Amarração de Fase (TAF), o que significa a desconsideração do chaveamento PAL, mesmo usando amostras da linha prévia do mesmo campo. Os quantizadores são estatísticos e foram implementados especificamente para as características do sistema QPCM. A meta a se atingir é uma taxa de bit compatível com a terceira hierarquia PCM padronizada pelo CCITT que é de 34 Mb/s. Essa taxa deve ser atingida mantendo-se a qualidade para TV comercial. Serão realizadas simulações com imagens padrão da Society Motion Picture Television Engineers (SMPTE) e feitas avaliações objetivas e subjetivas para se testar o desempenho do sistema QPCM. O sistema apresentou bom desempenho em ambas as análises.

ÍNDICE

	PAG
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - O SISTEMA QPCM	6
II.1. HISTÓRICO	7
II.2. O SISTEMA QPCM E SUAS CARACTERÍSTICAS	17
II.2.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SISTEMA QPCM	22
II.3. AVALIAÇÃO DO SISTEMA	30
II.3.1. CARACTERÍSTICAS DO SINAL DE TV	30
II.3.2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	34
II.3.2.1. AVALIAÇÃO OBJE- TIVA	34
II.3.2.2. AVALIAÇÃO SUBJE- TIVA	39
CAPÍTULO III - PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO	42
III.1 PREDIÇÃO	43
III.1.1 ESQUEMA DE PREDIÇÃO DO SISTEMA QPCM	47
III.1.2 O PREDITOR 1	49
III.1.3 O PREDITOR 2	56
III.2 QUANTIZAÇÃO	60
III.2.1 QUANTIZAÇÃO DO SINAL	

QUOCIENTE	62
III.2.2 O QUANT 04	81
III.2.3 O QUANT 15	94
 CAPÍTULO IV - SIMULAÇÕES E RESULTADOS	 107
IV.1 SIMULAÇÕES	108
IV.2 RESULTADOS	111
 CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	 122
 APÊNDICE A - PROGRAMAS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DO SISTEMA QPCM	 130
 APÊNDICE B - SEQUÊNCIA COMPLETA DE HISTOGRAMAS DA PDF DO SINAL "Q"	 179
 BIBLIOGRAFIA	 195

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda aspectos relativos ao sistema de processamento digital de imagens desenvolvido para compressão da taxa de bits de transmissão de sinais de TV na forma composta PAL-M.

O sistema recebeu o nome "QPCM", que vem de seu sinal característico de erro, o sinal quociente. O sistema QPCM é derivado do DPCM, onde são feitas mudanças nas operações realizadas por este. O subtrator da entrada do sistema DPCM é substituído por um divisor, e o somador usado na recuperação do sinal de entrada, por um multiplicador. Na entrada do sistema QPCM tem-se, como no DPCM, um sinal digitalizado na forma PCM. Esse sinal é dividido por sua previsão, donde surge o sinal quociente, que depois de quantizado é transmitido. A estrutura do sistema QPCM é exatamente a mesma do DPCM, porém, seus sinais intrínsecos têm características totalmente diferentes dos encontrados naquele sistema.

O objetivo deste trabalho é fazer com que o sistema apresente qualidade comercial. Pretende-se, ainda, que essa qualidade seja alcançada com uma taxa de bits compatível com a terceira hierarquia PCM padronizada pelo CCIR, que é de 34 Mb/s.

A avaliação do sistema é feita através de parâmetros

objetivos. A eficiência do sistema é testada tanto na redução da taxa de bits quanto em relação à qualidade da imagem transmitida. A avaliação subjetiva é também verificada visualmente.

Os preditores do sistema QPCM deverão ser do tipo mais simples possível. Por esse motivo não se usará a técnica de amarração de fase, pois esse artifício exige alta complexidade de implementação. Essa simplificação representa um avanço em se tratando do sistema PAL e deverá compensar a complexidade da operação proposta. A quantização deverá ser outro avanço, pois ela será desenvolvida especificamente para o sistema QPCM. Será feito um minucioso estudo estatístico do sinal quociente, a ser quantizado, na implementação do quantizador.

A parte experimental do sistema QPCM é realizada através de simulações em um computador VAX da DEC. Com essa finalidade implementou-se um software que simula o sistema. A linguagem código que se usa é o FORTRAN. São apresentadas tabelas com os resultados obtidos na avaliação objetiva e também comentários a respeito do desempenho, considerando-se seus parâmetros. Os resultados da avaliação subjetiva mostram que o sistema proposto é viável. A implementação física do sistema QPCM não é realizada devido a limitações de ordem prática.

Esta dissertação contém cinco capítulos. No Capítulo II é apresentado o modelamento matemático do sistema QPCM, bem como um breve histórico. Ainda neste capítulo são mostradas as características teóricas desse sistema, como também os parâmetros de avaliação empregados. No Capítulo III mostra-se todo o procedimento e a técnica utilizados na implementação dos quantizadores e preditores. São vistos o comportamento e as características dos sinais intrínsecos ao sistema QPCM, nas simulações. No Capítulo IV

são mostrados e comentados os resultados obtidos nessas simulações. O Capítulo V é destinado às conclusões finais.

O sistema QPCM é usado na compressão da taxa de bits. O emprego que se pesquisa para ele neste trabalho é a transmissão de sinais de TV comercial. Pretende-se que esse sistema reduza em 50% a taxa de transmissão de bits, isso significa uma enorme economia de faixa, pois se necessitará de apenas metade da faixa utilizada para transmitir o sinal de TV analógico. Deve-se, ainda, manter a qualidade para TV comercial. Outro exemplo seria o seu emprego na compressão do volume de informação a ser armazenada em memória, sem obviamente perda de informação, com isso se economizaria espaço de memória para outras informações. A economia dependerá da qualidade exigida para o sinal armazenado.

As simulações do sistema QPCM serão feitas com as imagens padrão da SMPTE de números 02, 04 e 15, que correspondem respectivamente a sala, Zelda e cozinha. As imagens utilizadas foram digitalizadas com frequência de amostragem de 10 MHz. Cada uma delas se encontra na forma de primárias R, G e B. As primárias encontram-se em arquivos de 512 linhas por 512 colunas, com todas as amostras alinhadas na vertical. As imagens deverão ser compostas no sinal PAL-M, para então, serem processadas. O sistema QPCM trabalhará com uma frequência de amostragem de $8/3$ da frequência de sub-portadora de cor (f_{sc}), para esse caso as amostras do sinal composto PAL-M ficam todas alinhadas na vertical, assim, como $(8/3)f_{sc}$ é próximo de 10 MHz, as imagens da SMPTE serão usadas diretamente depois de compostas, sem necessidade nenhuma de modificação no arquivo do sinal composto.

A avaliação subjetiva foi realizada no sistema de tratamento de imagens (Sitim) disponível nas dependências do

CEPAGRI/UNICAMP. Essa avaliação apresentou muita dificuldade para ser realizada pelo fato desse equipamento não ser de uso exclusivo do Departamento de Comunicações (DECOM) da FEE.

CAPÍTULO II

O SISTEMA QPCM

CAPÍTULO II

O SISTEMA QPCM

II.1. - HISTÓRICO

A transmissão do sinal de TV na forma digital surgiu devido às várias vantagens que esse tipo de sinal apresenta em relação ao analógico. O sinal de TV na forma digital pode ser armazenado e processado com várias facilidades, as quais não se consegue com o sinal na forma analógica. Na recepção se tem um sinal recuperado, com qualidade superior. Isso devido à facilidade de regeneração de pulso, aos códigos corretores de erros etc. Uma das grandes vantagens do sistema digital em relação ao analógico é a possibilidade de redução da taxa de bits, necessária para transmissão do sinal. É possível, assim, utilizar-se de um canal de transmissão de menor capacidade quando se está transmitindo o sinal na forma digital. Consegue-se essa economia através da retirada de redundância, que está presente em grande parte do sinal de TV. Por esse motivo, o sistema responsável pela diminuição da taxa de bits é conhecido como redutor de redundância. Com um sistema de transmissão de TV digital, é possível chegar-se a uma redução de cerca de metade da taxa de bits inicial. Isso significa que a

transmissão do sinal de TV na forma digital, nessas condições, utiliza apenas metade da faixa necessária para se transmitir o sinal digitalizado diretamente. Essa é uma economia brutal, em termos de sistema de transmissão, principalmente quando se deseja fazer uma transmissão via satélite, onde os custos são enormes. Assim, onde se tem a transmissão de apenas um canal de TV, é possível se transmitir até dois canais com redução de faixa, desde que se tenha feito a redução de redundância. Somente este fato seria razão suficiente para utilização do sistema digital. Existem sistemas de redução da taxa de bits que realizam a redução para cerca de 1/4 da taxa original. Porém, esses sistemas não atingiram ainda qualidade de transmissão para TV comercial.

O sistema de transmissão digital mais conhecido e utilizado em todo o mundo é o sistema de modulação por código de pulso (PCM "Pulse Code Modulation"). Esse sistema codifica com pulsos os valores discretos do sinal amostrado antes que ele seja transmitido. Na Fig. II.1, tem-se um diagrama em blocos do sistema PCM.



Fig. II.1 - Diagrama em blocos do sistema PCM

Na Fig. II.1 o primeiro bloco representa o amostrador com tempo de amostragem T_a . O segundo bloco "Q" representa o quantizador

e o último "C" o codificador. Não são necessários maiores detalhes do sistema, pelo fato de esse ser muito bem conhecido. O problema do sistema PCM é quando se está transmitindo frequências altas. É que pelo teorema da amostragem o sinal tem que ser amostrado com uma frequência pelo menos duas vezes a mais alta frequência contida no sinal a ser transmitido, para que se consiga recuperar o sinal original sem distorções. Isso faz com que o sistema PCM apresente uma taxa de bits de transmissão muito elevada quando se está transmitindo componentes de alta frequência. Esse é o caso da transmissão do sinal de TV cuja faixa é limitada em 4,2 MHz no sistema PAL-M adotado no Brasil.

Para se resolver o problema de taxa de bits muito elevada, surgiram vários sistemas. Entre esses sistemas, o mais difundido em todo o mundo é o de modulação por código de pulso diferencial, conhecido pela sigla DPCM. ("Differential Pulse Code Modulation"). O diagrama de blocos do sistema DPCM é apresentado na Fig. II.2.

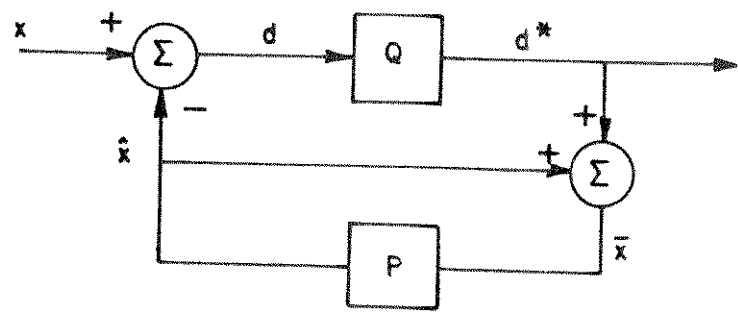


Fig. II.2 - Diagrama em blocos do sistema DPCM

Na Fig. II.2 acima tem-se que

x - sinal original (entrada)
 $\hat{x}$ - sinal predito
 d - sinal diferença
 d^* - sinal diferença quantizado
 $\bar{x}$ - sinal réplica recuperado localmente
 Σ - somador
 Q - quantizador
 P - preditor

No sistema DPCM, como se pode observar pela Fig. II.2, o sinal predito " $\hat{x}$ " é subtraído do sinal de entrada " x ", resultando na saída do subtrator o sinal diferença " d ". O sinal predito " $\hat{x}$ " deve apresentar o mesmo número de bits/palavra que o sinal de entrada. Logo, os sinais " x " e " $\hat{x}$ " têm o mesmo intervalo de variação. Impõe-se que os valores de entrada e saída do preditor sejam limitados dentro desse intervalo de variação, ou seja, o do sinal de entrada " x ".

A entropia do sinal diferença " d " dependerá da eficiência do preditor. Quanto mais precisa for a predição menor será a entropia desse sinal " d " [11]. Observando-se a Fig. II.2, nota-se que, quanto mais eficiente for o preditor, ou seja, quanto mais precisa for a predição, mais concentrada ao redor do valor zero deverá ser a distribuição do sinal diferença " d ". Ou seja, a função densidade de probabilidade (pdf) apresentará um pico no valor "0" (zero). Se fosse possível ao preditor prever todos os valores do sinal de entrada, o sinal diferença apresentaria apenas um valor, esse valor, obviamente, seria o "0" (zero). Esse sinal teria uma entropia igual

a "0" (zero), o que significa que não seria necessário se transmitir nenhum bit do sinal original para que esse fosse recuperado no receptor. Essa é uma situação extrema em que o sinal é totalmente previsível (determinístico). Esse tipo de sinal não existe nos sistemas comerciais reais de transmissão. Porém, os sinais transmitidos por sistemas reais apresentam uma certa quantidade de redundância. Os sistemas digitais, como é o caso do DPCM, podem retirar essa redundância do sinal a ser transmitido. Diminui-se dessa maneira a entropia do sinal diferença "d" diminuindo-se assim o número de bits por palavra necessário para transmissão do sinal original "x". A retirada da redundância, no sistema DPCM, como pode-se deduzir, baseando-se nos fatos expostos acima, fica a cargo do preditor. A situação ideal é a concentração do sinal diferença "d" em cima do valor "0" (zero). Porém, como já foi dito, isso é impossível na prática. O que se busca nesse sistema é a máxima concentração possível dos valores do sinal diferença "d" em torno de "0" (zero). Isso resultará na retirada da redundância do sinal original de entrada. Quanto maior for a eficiência do preditor menor será a redundância, que passará para o sinal diferença, e obviamente, menor será a sua entropia.

O quantizador tem por função controlar a taxa de bits de saída do sistema DPCM, ou seja, a entropia do sinal transmitido "d*". Isso significa controlar a taxa de bits na linha de transmissão. Como pode ser visto, analisando-se a Fig. II.2, o sinal diferença apresenta um intervalo de variação igual ao dobro do intervalo de variação dos sinais "x" e " $\hat{x}$ ". Por esse motivo, para se representar o sinal diferença "d", é necessário "1" (um) bit a mais do que se necessita para representar os sinais de entrada "x" e predito " $\hat{x}$ ". Se os sinais "x" e " $\hat{x}$ " apresentam como valor máximo o

inteiro "M", o intervalo de variação do sinal diferença será de $-M$ a $+M$. A Fig. II.3 mostra os intervalos de variação dos sinais "x", " $\hat{x}$ " e "d".

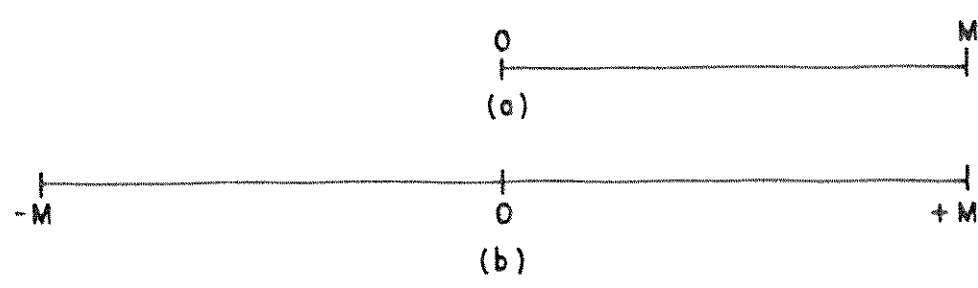


Fig. II.3 - Intervalos de variação dos sinais: (a) "x" e " $\hat{x}$ ",
(b) "d"

O sinal diferença "d" apresenta um intervalo de variação maior que o do sinal de entrada. Porém, a entropia do sinal diferença é menor que a do sinal de entrada. Esse fato se deve à concentração de níveis que o sinal diferença apresenta em torno do valor "0" (zero). A Fig. II.4 mostra como é o formato da pdf do sinal diferença.

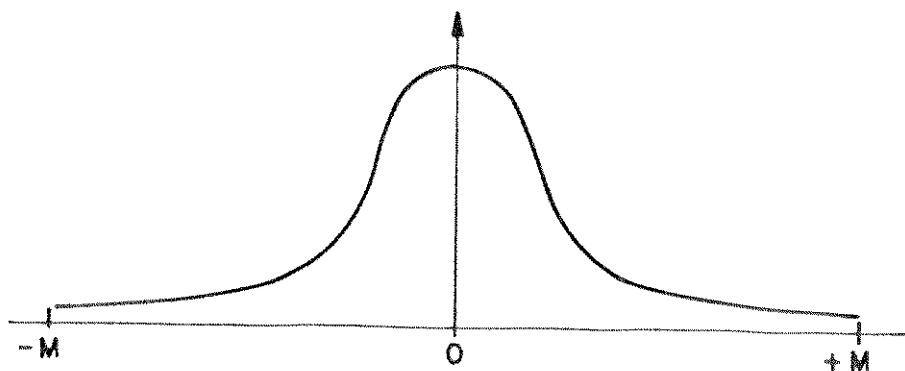


Fig. II.4 - Formato da pdf do sinal diferença "d"

A concentração de níveis em torno de "0" (zero) é resultante da ação do preditor. Quanto mais precisa for a predição maior será a concentração de níveis e mais aguda será a curva da pdf no ponto "0" (zero). Essa maior concentração da pdf do sinal diferença resulta em uma entropia menor para esse sinal. Isso significa que quanto mais concentrada e aguda for a pdf menor será a entropia do sinal.

A quantização do sinal diferença "d" é feita dividindo-se o intervalo entre $-M$ e $+M$ da Fig. II.4, em vários sub-intervalos, o comprimento de cada um deles varia de acordo com a posição em que esse se encontra dentro do intervalo de variação do sinal diferença. Existe dentro desse intervalo de variação regiões de maior e de menor importância em relação à qualidade final da imagem recuperada. Para cada sub-intervalo de quantização, dentro de $-M$ a $+M$, existe apenas um nível de saída do quantizador. Ou seja, "1" (um) nível de quantização.

As áreas de maior importância para a quantização encontram-se nas proximidades do valor "0" (zero), pois, nessa

região, concentra-se o maior número de acertos do preditor. Isso significa que quando o sistema está processando áreas uniformes¹ da imagem de TV, o sinal diferença "d" deverá estar nas proximidades do valor "0" (zero). Essa afirmação valerá para a maioria dos sistemas DPCM, pois, para que o sistema seja eficiente, é necessário que a predição seja boa nessas áreas.

Nas áreas da pdf ao redor do valor "0" (zero), a quantização deverá ser a mais fina possível, em razão da sensibilidade apresentada pelo olho humano, às imperfeições da imagem, em áreas uniformes. Quanto menor for o intervalo de quantização mais fina essa será. A quantização torná-se-á cada vez mais grosseira à medida que se afasta do valor "0" (zero). Isso vale tanto para o lado positivo como para o negativo. Quanto mais grosseira for a quantização maiores serão as partições em que se divide o intervalo de variação e o sinal diferença. Nas regiões de quantização próximas de "0" (zero), o erro de quantização será pequeno devido à quantização fina. Esse erro deverá ser pequeno o suficiente para que seja imperceptível ao olho humano, mesmo estando-se em áreas uniformes. Afastando-se do zero, nas duas direções, esse erro irá crescer devido à quantização grosseira. Esse erro maior não deverá causar problemas na imagem recuperada, pois essas áreas da imagem correspondem a regiões com alto grau de detalhe. Nessas áreas da imagem o olho humano apresenta baixa sensibilidade a ruídos. Isso significa que em regiões da imagem com alto grau de detalhes, o ruído de quantização pode ser maior, não causando grande prejuízo à qualidade da imagem recuperada no receptor. Em regiões da imagem com

¹ Áreas uniformes da imagem são aquelas que apresentam apenas uma cor e não contém detalhes.

alto grau de detalhe, o preditor não fará uma boa predição para o sinal. Analisando-se a Fig. II.2, observa-se que, nessas condições, o sinal diferença estará em regiões afastadas do valor zero. Ou seja, regiões da pdf distantes de zero correspondem a regiões da imagem com alto grau de detalhe.

A quantização do sinal diferença no sistema DPCM é dividida em várias regiões, tendo, cada uma, diferentes comprimentos da palavra código. Essas palavras código irão representar os níveis de saída do quantizador. A Fig. II.5 mostra o intervalo de variação do sinal diferença dividido em várias regiões de quantização.

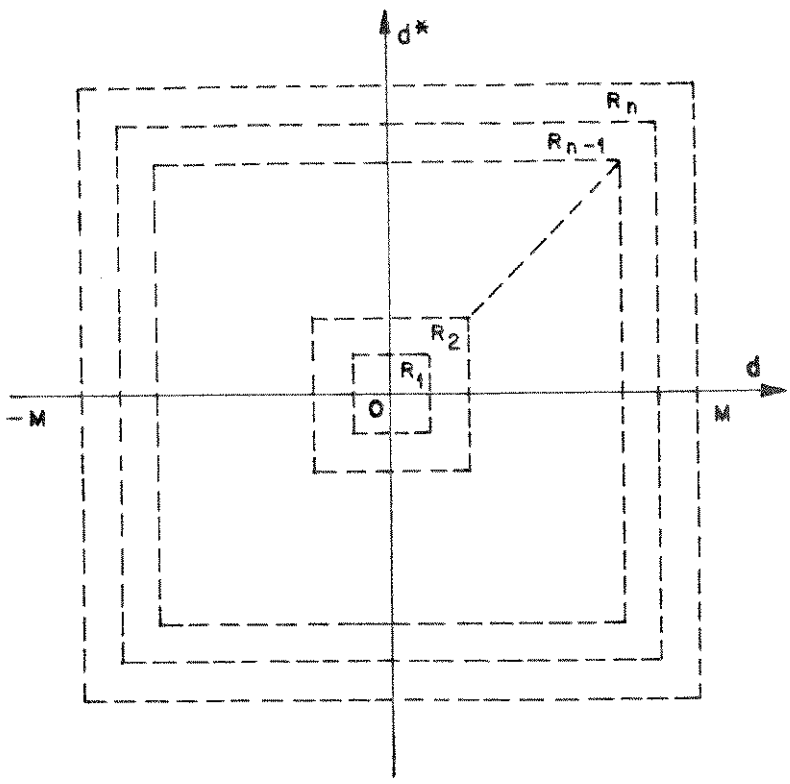


Fig. II.5 - Regiões de quantização do sinal diferença do sistema DPCM

A cada nível de saída do quantizador é associada uma palavra-código pertencente a uma das regiões de quantização do sinal d. Assim, o número total de palavras-código, de todas as regiões de quantização somadas, deve ser igual ou superior ao número total de níveis de saída do quantizador. O ponto ótimo é aquele em que o número total de níveis de quantização é igual ao número total de palavras códigos de todas as regiões de quantização. Representa-se $k_1, k_2, \dots, k_{n-1}$ e k_n , como sendo os comprimentos de palavras correspondentes às regiões de quantização, $R_1, R_2, \dots, R_{n-1}$ e R_n , respectivamente. A relação entre os comprimentos de palavras das diversas regiões é especificada por :

$$k_1 < k_2 < \dots < k_{n-1} < k_n \quad (2.1)$$

Assim, tem-se k_1 como o menor comprimento de palavra e k_n como o maior. As palavras de menor comprimento são então associadas ao nível de saída "0" (zero) e aos mais próximos a ele. Como pode ser visto na Fig. II.5, essa associação é feita avançando-se tanto para o lado positivo como para o negativo, simultaneamente. Depois que todas as palavras da primeira região forem associadas a níveis de saída do quantizador, passa-se a associar os níveis de saída às palavras da região de quantização seguinte. Esse procedimento é realizado região após região, até que todos os níveis de saída do quantizador tenham palavras-código associadas a eles.

Na entrada do quantizador do sistema DPCM haverá uma maior incidência dos níveis próximos de "0" (zero), sendo que o nível "0" (zero) é o que apresenta maior incidência em todo o intervalo de quantização. Na Fig. II.4, pode-se verificar as características da

pdf do sinal de entrada do quantizador. Na quantização, as palavras de menor comprimento são, então, associadas aos níveis de saída do quantizador que apresentam maior incidência. As palavras de maior comprimento são associadas aos níveis de saída de menor incidência. Com esse artifício, consegue-se para o sinal diferença quantizado, na saída do sistema DPCM, uma diminuição da taxa média final de bits. Isso resulta em uma taxa de bits de saída para o sistema DPCM menor do que se fosse usado um comprimento fixo para as palavras-código.

A taxa média final de bits do sinal diferença quantizado é consideravelmente menor que a taxa de bits do sinal original "x" na entrada do sistema DPCM. A taxa média final pode alcançar o equivalente à metade da taxa na entrada. Essa relação entre a taxa de entrada e de saída depende da eficiência do preditor e do quantizador.

O sistema DPCM deu origem ao sistema desenvolvido na tese. No item seguinte, serão vistas todas as características desse sistema que será chamado de QPCM.

11.2. - O SISTEMA QPCM E SUAS CARACTERÍSTICAS

O sistema "Quotient Pulse Code Modulation", que daqui para frente será chamado de QPCM, surgiu como uma variação do sistema DPCM. No sistema QPCM tem-se a mesma estrutura encontrada no DPCM, porém com duas pequenas modificações. O subtrator encontrado no sistema DPCM é substituído por um divisor. No lugar do somador, usado para recuperação do sinal original, coloca-se, então, um multiplicador. O nome sinal quociente foi usado apenas para lembrar o resultado da operação que se obtém no divisor do sistema.

O diagrama em blocos do sistema QPCM é mostrado na Fig.

II.6.

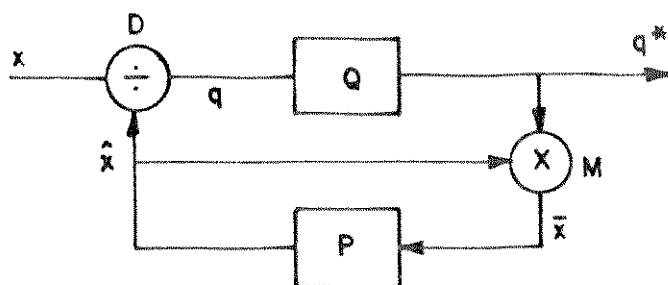


Fig. II.6 - Diagrama em blocos do sistema QPCM

No diagrama em blocos da Fig. II.6 tem-se:

- x → sinal original (entrada)
- $\hat{x}$ → sinal predito
- q → sinal quociente
- q^* → sinal quociente quantizado
- $\bar{x}$ → sinal original recuperado localmente
- D → divisor
- M → multiplicador
- Q → quantizador
- P → preditor

Na Fig. II.7 é apresentado o diagrama em blocos do receptor do sistema QPCM.

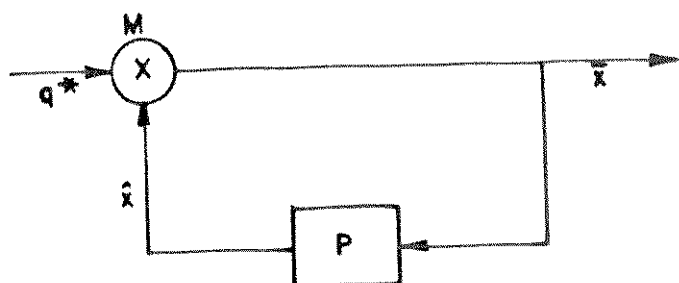


Fig. II.7 - Diagrama em blocos do receptor do sistema QPCM

Na Fig. II.7 acima tem-se:

q^* → sinal quociente quantizado (recebido)

$\hat{x}$ → sinal predito

$\bar{x}$ → sinal recuperado (reconstituído)

M → multiplicador

P → preditor

O preditor do receptor, como no sistema DPCM, tem que ser idêntico ao do transmissor. É necessário que se tenha o mesmo algoritmo de predição no preditor do transmissor e do receptor. Somente dessa maneira consegue-se recuperar, no receptor, o sinal original. Essa exigência será explicada nas equações do sistema QPCM. Para o transmissor do sistema QPCM, da Fig. II.6, tem-se as equações que são mostradas abaixo. Para se distinguir os sinais predito e recuperado, do transmissor e do receptor, serão usados os índices "1" e 2, respectivamente.

$$q = \frac{x}{x_1} \quad (2.2)$$

$$q^* = q + \epsilon_Q \quad (2.3)$$

onde ϵ_Q é o erro de quantização.

Substituindo (2.2) em (2.3), vem

$$q^* = \frac{x}{x_1} + \epsilon_Q \quad (2.4)$$

$$\bar{x}_1 = q^* \cdot \hat{x}_1 \quad (2.5)$$

Substituindo (2.4) em (2.5), fica:

$$\bar{x}_1 = \left(\frac{x}{x_1} + \epsilon_Q \right) \cdot \hat{x}_1 \quad (2.6)$$

$$\bar{x}_1 = \frac{x \cdot \hat{x}_1}{x_1} + \hat{x}_1 \epsilon_Q \quad (2.7)$$

Assim, o sinal recuperado " $\bar{x}_1$ " fica:

$$\bar{x}_1 = x + \hat{x}_1 \epsilon_Q \quad (2.8)$$

Pode ser notado, pela equação (2.8), que o sinal recuperado

" $\bar{x}_1$ " contém uma parcela equivalente a ruído. Essa parcela é composta por duas partes. O ruído de quantização, uma das partes, e o sinal predito " $\hat{x}$ ", a outra. O produto desses dois sinais resulta no ruído

do sistema QPCM (veja eq. (2.8)). A primeira vista, pode parecer que esse ruído compromete de maneira intolerável a qualidade do sinal recuperado, o que é inaceitável para um sistema de transmissão. Esse fato causou muita preocupação no início das investigações sobre o sistema QPCM. Isso por se tratar de uma idéia nova e desconhecida, não existindo nenhum dado a respeito do comportamento de seus sinais que pudesse dissipar todas as suspeitas de intolerância do ruído acrescentado ao sinal recuperado. Porém, como será visto mais a frente, esse ruído, devido a algumas características particulares do sistema QPCM, é não só tolerável como também muitas vezes imperceptível.

As equações do receptor do sistema QPCM, da Fig. II.7, são mostradas a seguir :

$$q^* = \frac{x}{x_1} + \epsilon_Q \quad (2.9)$$

O sinal quociente quantizado na entrada do receptor, obviamente, será o da saída do transmissor. Esse sinal é o da equação (2.4), que é repetido na equação (2.9). Não serão consideradas as degradações que são causadas pelo meio de transmissão. Assume-se que se tenha na entrada do receptor um sinal regenerado. Na saída do multiplicador, ter-se-á o seguinte sinal:

$$\bar{x}_2 = q^* \cdot \hat{x}_2 \quad (2.10)$$

Substituindo a equação (2.9) em (2.10), fica:

$$\bar{x}_2 = \left[\frac{x}{x_1} + \epsilon_Q \right] \cdot \hat{x}_2 \quad (2.11)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{x \cdot \hat{x}_2}{x_1} + \epsilon_Q \cdot \hat{x}_2 \quad (2.12)$$

Aqui se nota a necessidade dos preditores do receptor e do transmissor terem o mesmo algoritmo de predição. Como no sistema QPCM essa exigência é satisfeita, a equação (2.12) fica:

$$\bar{x}_2 = x + \hat{x}_2 \cdot \epsilon_Q \quad (2.13)$$

pois,

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_2 \quad (2.14)$$

comparando-se a equação (2.13) com a equação (2.8), observa-se que:

$$\bar{x}_2 = \bar{x}_1 \quad (2.15)$$

Assim, satisfazendo-se a exigência em relação à predição, é possível se recuperar no receptor o sinal original da entrada do transmissor com um ruído, que devido às características do sistema, será imperceptível.

II.2.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SISTEMA QPCM

O sinal de entrada do sistema QPCM será um sinal de TV comercial, digitalizado, com 8 bits/amostra, e frequência de

amostragem de aproximadamente 10 MHz. Isso significa que os sinais "x" e " $\hat{x}$ " têm um intervalo de variação entre "0" (zero) e "255". Cada um desses sinais terá um espaço amostral de 256 palavras. Porém, na saída do preditor, existirá um limitador. A função desse limitador é excluir o "0" (zero) da predição. Ou seja, limitar a saída do preditor entre "1" e "255". O sinal " $\hat{x}$ " fica, portanto, com um espaço amostral de "255" palavras. O objetivo da exclusão do valor "0" (zero) é evitar divisão por esse valor. Essa limitação não acarretará problema nenhum à predição pois, quando o valor do sinal de entrada for ("0"), qualquer que seja a predição para ele, o sinal quociente será igual a zero.

Pela lógica binária, na saída do divisor, o sinal quociente "q" deverá ter pelo menos 16 bits/palavra. Isso para representar todas as palavras possíveis da divisão entre os sinais "x" e " $\hat{x}$ ". Pois esses dois sinais binários apresentam 8 bits/palavra cada um. O número total de palavras possíveis para um sinal binário com 16 bits/palavra é de 65.536 palavras. Como o valor "0" (zero) é eliminado da predição, o sinal quociente "q" apresenta um universo de 65.280 palavras. Pode-se verificar facilmente que esse número é obtido subtraindo-se do valor 65.536, que representa o número total de palavras de um sinal binário de 16 bits/palavra, a quantidade de 256 palavras, pois não há divisão por "0". Essas 256 palavras a menos, no universo do sinal "q", equivalem às combinações com o valor "0" (zero), retirado da predição. A Tab. II.1 mostra todas as combinações possíveis entre os sinais de entrada "x", e o predito " $\hat{x}$ " que resultam no sinal quociente "q".

Tab. II.1 - Tabela com todos os valores possíveis para o sinal
quociente

$\frac{y}{x}$	0	1	2	3	...	100	101	...	254	255
1	0/1	1/1	2/1	3/1		100/1	101/1	...	254/1	255/1
2	0/2	1/2	2/2	3/2		100/2	101/2	...	254/2	255/2
3	0/3	1/3	2/3	3/3		100/3	101/3	...	254/3	255/3
4	0/4	1/4	2/4	3/4		100/4	101/4	...	254/4	255/4
5	0/5	1/5	2/5	3/5		100/5	101/5	...	254/5	255/5
6	0/6	1/6	2/6	3/6		100/6	101/6	...	254/6	255/6
...	...	...	...	...		...	...	...	...	...
100	0/100	1/100	2/100	3/100		100/100	101/100	...	254/100	255/100
101	0/101	1/101	2/101	3/101		100/101	101/101	...	254/101	255/101
...	...	...	...	...		...	...	...	...	...
251	0/251	1/251	2/251	3/251		100/251	101/251	...	254/251	255/251
252	0/252	1/252	2/252	3/252		100/252	101/252	...	254/252	255/252
253	0/253	1/253	2/253	3/253		100/253	101/253	...	254/253	255/253
254	0/254	1/254	2/254	3/254		100/254	101/254	...	254/254	255/254
255	0/255	1/255	2/255	3/255		100/255	101/255	...	254/255	255/255

Observa-se pela tabela acima que o número total de valores, para o sinal quociente, pode ser obtido pela multiplicação "256 x 255".

Na Tab. II.1, existe uma diagonal que contém apenas o valor "1". Essa diagonal separa a Tab. II.1 ao meio, e será chamada diagonal "um". Do lado esquerdo da diagonal "um" estão os números menores que "1" (um) e do lado direito os maiores que "1". (Essa diagonal representa as divisões 1/1, 2/2, 3/3, ..., 255/255). Pode-se observar na Tab. II.1 que existem muitas divisões que têm o mesmo resultado tanto do lado direito como do esquerdo da diagonal "um". Como pode-se observar, a própria diagonal "um" é composta somente de divisões de mesmo resultado. Do lado direito dessa diagonal, tem-se, por exemplo,

que a divisão $4/2$ é equivalente a $2/1$, que é equivalente a $6/3$. Do lado esquerdo, a divisão $2/3$ é equivalente a $4/6$, que equivale a $8/12$, e assim por diante. Estudando-se minuciosamente, achar-se-á milhares de valores da Tab. II.1, que se equivalem. Após esse estudo, verificou-se que o número total de valores "distintos" do sinal quociente cai dos 65.280 quocientes possíveis para o valor 39.640 palavras.

O menor valor que o sinal quociente pode assumir é "0" (zero), e o maior "255". Dentro desse intervalo, encontram-se todos os 39.640 quocientes distintos, entre os sinais de entrada " $\hat{x}$ " e predito " $\hat{x}$ ".

O ponto mediano na distribuição dos quocientes, no intervalo de variação do sinal quociente " q ", que vai de "0" (zero) a "255", encontra-se no valor "1". Nesse ponto, como pode ser visto pela Tab. II.1, existem "255" quocientes concentrados. Esses quocientes são as divisões que vão desde $1/1$ até $255/255$. Nota-se, também, pela Tab. II.1 que o valor zero acumula "255" quocientes que correspondem às divisões de "0" (zero) por todos os valores possíveis para o sinal predito " $\hat{x}$ ". Um estudo minucioso da estatística do sinal quociente foi o início dos estudos do sistema QPCM. Foi escrito um programa que fornece uma relação com todos os valores possíveis para o sinal quociente. Esse programa fornece também o número de quocientes equivalentes que cada valor concentra. Ou seja, quantos quocientes ocorrem com um dado valor.

Como já foi dito anteriormente, o valor "1" é o ponto mediano da distribuição dos quocientes. Isso significa que metade de todas as opções possíveis para o sinal quociente encontra-se entre "0" (zero) e "1". A outra metade está entre "1" e "255". Entre "0"

(zero) e "1", o ponto mediano da distribuição é $1/2$ (meio), onde concentram-se 127 quocientes equivalentes. Isso significa que $1/4$ dos 39.640 quocientes, estão entre o valor "0" (zero) e " $1/2$ ". E entre " $1/2$ " e 1 tem-se também 25% de todos os valores possíveis para "q". No intervalo entre "0" (zero) e "1" tem-se uma distribuição aproximada- mente simétrica. Isso quer dizer que dividindo-se o intervalo consecutivo sempre ao meio se encontra de um lado a mesma distribuição de quocientes que se encontra do outro. Esse fato pode ser visto com maior clareza na Fig. II.8.

Ponto da Figura II B	Valor do sinal quociente no ponto	Ponto da Figura II B	Valor do sinal quociente no ponto	Ponto da Figura II B	Valor do sinal quociente no ponto
1	0,015625	25	0,65625	49	1,28125
2	0,03125	26	0,6875	50	1,3125
3	0,046875	27	0,71875	51	1,34375
4	0,0625	28	0,75	52	1,375
5	0,078125	29	0,78125	53	1,40625
6	0,09375	30	0,8125	54	1,4375
7	0,109375	31	0,84375	55	1,46875
8	0,125	32	0,875	56	1,5
9	0,15625	33	0,890625	57	1,53125
10	0,1875	34	0,90625	58	1,5625
11	0,21875	35	0,921875	59	1,59375
12	0,25	36	0,9375	60	1,625
13	0,28125	37	0,953125	61	1,65625
14	0,3125	38	0,96875	62	1,6875
15	0,343750	39	0,984375	63	1,71875
16	0,375	40	1	64	1,75
17	0,40625	41	1,03125	65	1,78125
18	0,4375	42	1,0625	66	1,8125
19	0,46875	43	1,09375	67	1,84375
20	0,5	44	1,125	68	1,875
21	0,53125	45	1,15625	69	1,90625
22	0,5625	46	1,1875	70	1,9375
23	0,59375	47	1,21875	71	1,96875
24	0,625	48	1,25	72	2

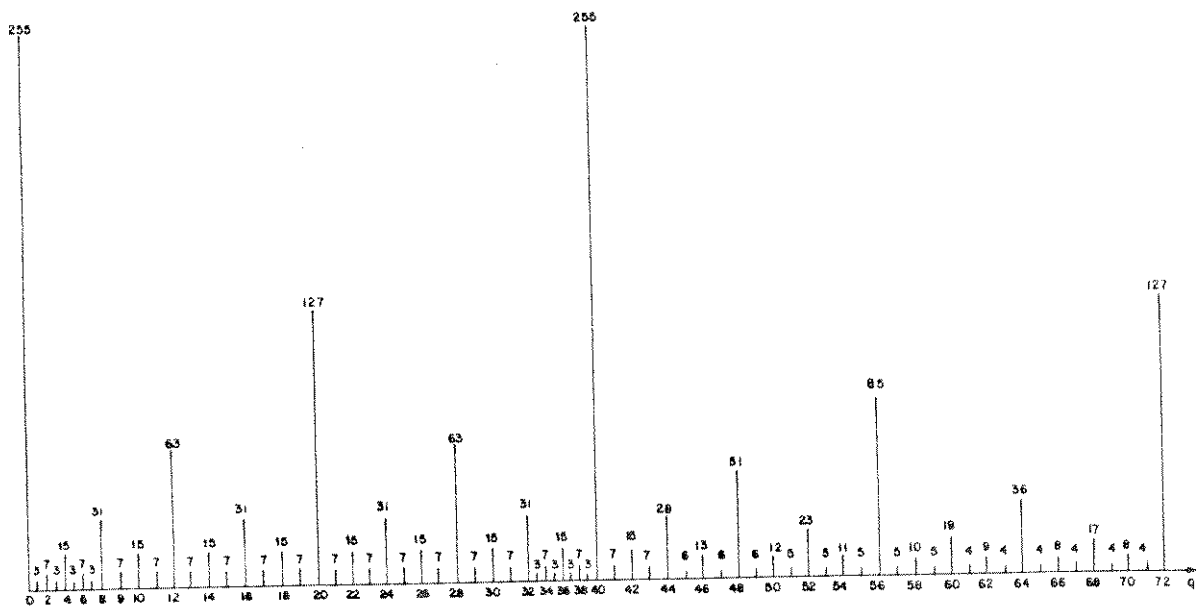


Fig. II.8 - Distribuição das ocorrências equivalentes aos valores possíveis para o sinal quociente "q" entre "0" (zero) e "2"

A Fig. II.8 mostra um histograma com o número de ocorrências dos principais valores do sinal quociente, entre "0" (zero) e "2". Essa Fig. II.8, como se observa, não contém todos os valores possíveis para o sinal quociente, entre "0" e "2". Ela tem utilidade apenas para se ter uma idéia da distribuição do sinal nesse intervalo. O número que aparece em cima de cada barra corresponde ao número de vezes que o valor aparece na Tab. II.1.

A simetria encontrada no intervalo entre "0" (zero) e "1", quando esse é dividido consecutivamente ao meio não é encontrada no intervalo entre "1" e "255".

Para cada valor distinto do sinal quociente, existirá uma palavra binária que o representa. Por esse motivo, desse ponto para frente, usar-se-á "palavra" representando o valor do sinal quociente. Tem-se 19.820 palavras no intervalo entre "1" e "255", metade delas fica localizada entre "1" e "2". A outra metade fica dentro do intervalo entre "2" e "255".

Como pode ser visto na Fig. II.8, dividindo-se o intervalo entre "1" e "2" consecutivamente ao meio, as palavras que ficam do lado esquerdo terão número de ocorrência sempre maior que o do seu par simétrico do lado direito.

Afastando-se do ponto mediano "1", em direção a "0" (zero) ou "255", o espaçamento entre palavras aumenta gradativamente. O espaçamento entre palavras, avançando-se em direção a "255", será maior do que quando se avança em direção a "0" (zero). Todos os fatores citados acima ocasionam uma concentração de palavras ao redor do ponto mediano "1". Todos os dados apresentados são baseados na estatística do sinal quociente "q", e foram retirados do

programa já citado anteriormente.

O número elevado de palavras necessário para representar o sinal quociente, 39.640 palavras, parece, à primeira vista, ser um fator de desvantagem do sistema QPCM. Porém, nas simulações com sinais reais, o número total de palavras cai para cerca de 25% do valor inicial. Ou seja, nas simulações com sinais reais de TV e a predição do sistema implementado, o número total de palavras necessárias para representar o sinal quociente fica entre 8.000 e 9.000. Esse fator ajuda muito. Porém, esse número ainda é um tanto elevado. As características do sinal quociente é que tornam possível e vantajosa a realização (implementação) do sistema QPCM. A principal característica é ter-se as palavras extremamente próximas umas das outras, principalmente no intervalo de maior interesse. Todos esses detalhes serão vistos com maior profundidade no capítulo seguinte.

O sistema QPCM tem algumas características peculiares. O sinal "x" original é recuperado da mesma forma que no sistema DPCM. Porém, devido às características do sinal quociente, e ao erro infinitesimal de quantização, a predição do sistema QPCM não necessita ser tão precisa quanto a do DPCM. Essa é uma das grandes vantagens desse sistema. Essa parte será vista com mais detalhes também no capítulo seguinte, no item predição.

Um detalhe importante do sistema é o fato de que o erro de quantização, eq. (2.3), não é acumulativo. Quanto à esse aspecto o sistema QPCM é idêntico ao DPCM. Isso se deve ao fato de o quantizador estar dentro da malha do sistema, como pode-se ver da Fig. II.6. Essa é uma condição obrigatória, pois se o quantizador ficar fora da malha, o erro de quantização torna-se acumulativo. Isso tornaria impossível a recuperação do sinal no receptor, devido ao

ruído que nele estaria embutido.

II.3. - AVALIAÇÃO DO SISTEMA

II.3.1. - CARACTERÍSTICAS DO SINAL DE TV

As avaliações do sistema serão feitas utilizando-se imagens digitalizadas da SMPTE ("Society Motion Picture and Television Engineer"). As imagens utilizadas serão as de número 02, 04 e 15. Essas imagens correspondem às fotos da sala, ao "close" de Zelda e à cozinha respectivamente. As três imagens são representativas de uma grande parte dos tipos de quadros encontrados em televisão comercial. As imagens da SMPTE foram digitalizadas de seus diapositivos utilizando-se uma câmera monocromática, com um filtro especial para cada uma das primárias. Portanto, tem-se todas as imagens para simulação nas três primárias R, G e B. As imagens foram digitalizadas com 8 bits/amostra. A frequência utilizada foi de 10 MHz. As primárias são formadas por quadros de 512 linhas, com 512 amostras em cada linha. As amostras das linhas estão alinhadas na vertical.

O sistema QPCM irá processar somente imagens na forma composta. O sistema de TV será o PAL padrão M. A frequência de amostragem do sinal utilizada será de $(8/3) f_{sc}$. Com essa frequência de amostragem, como é mostrado abaixo, tem-se 606 amostras/linha.

$$f_s = 3,57561149 \text{ MHz} \pm 10 \text{ Hz} \quad (2.16)$$

$$f_a = \frac{8}{3} f_{sc} \quad (2.17)$$

$$f_{sc} = \frac{909}{4} f_H \quad (2.18)$$

Substituindo (2.18) em (2.17) fica:

$$f_a = \frac{8}{3} \times \frac{909}{4} f_H \quad (2.19)$$

$$f_a = 606 f_H \quad (2.20)$$

ou seja:

$$T_H = 606 T_a \quad (2.21)$$

onde, f_H é a frequência horizontal e T_H é o período de uma linha

Assim, como tem-se um número inteiro de amostras por linha, essas ficaram todas alinhadas na vertical, qualquer que seja a fase inicial de amostragem. A Fig. II.9 mostra um mosaico com três linhas quaisquer dentro de um campo, para $f_a = (8/3)f_{sc}$. Pode-se observar que as amostras estão alinhadas na vertical.

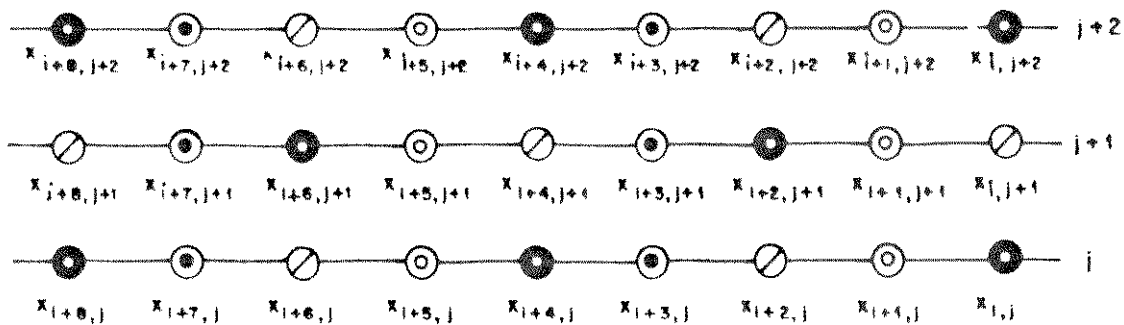


Fig. II.9 - Mosaico de amostras do sinal PAL-M para $f_a = (8/3) f_{sc}$

Como $f_a = (8/3) f_{sc}$ é aproximadamente 10 MHz e todas as amostras encontram-se alinhadas na vertical usar-se-á diretamente as imagens digitalizadas da SMPTE sem que seja feito nenhum rearranjo nas amostras ou acréscimo entre as já existentes.

O sistema QPCM processa somente sinal de TV composto no sistema PAL-M. Tem-se as imagens digitalizadas, da SMPTE, nas três primárias R, G e B. Torna-se, portanto, obrigatória a composição das primárias (R, G e B) referentes a cada imagem no sinal composto PAL-M.. Pode ser visto na Fig. II.10 um diagrama em blocos do sistema QPCM com um bloco na entrada para composição das três primárias no sinal PAL-M.

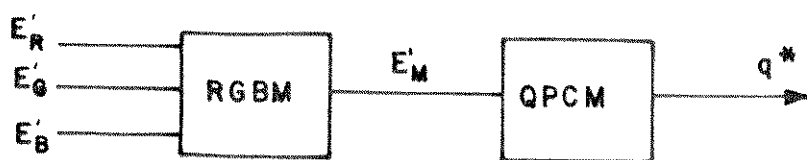


Fig. II.10 - Diagrama em blocos do sistema QPCM com um bloco para composição do sinal PAL-M

A sigla E'_M da Fig. II.10 representa o sinal composto PAL-M com correção gama. Na equação (2.22) é mostrado esse sinal.

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

(2.22)

onde,

$E'_Y(t)$ → sinal de luminância
 $E'_U(t), E'_V(t)$ → sinais diferença de cor
 $m(t)$ → chaveamento PAL
 ω_{sc} → $2\pi f_{sc}$ → subportadora de cor.

O símbolo " E'_Y " representa o sinal de luminância com fator de correção gama. Na Fig. II.11 é apresentado o diagrama em blocos do bloco RGBM para composição das primárias no sinal composto PAL-M.

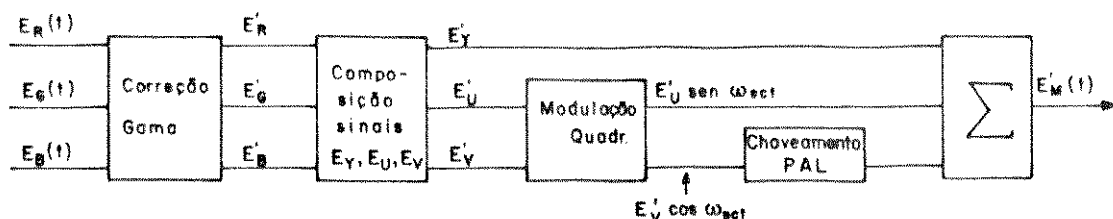


Fig. II.11 - Diagrama em blocos para composição do sinal PAL-M

Essa parte do sistema, responsável pela composição do sinal PAL-M, à partir das primárias R, G e B, já havia sido implementado em outro trabalho [15]. O nome RGBM dado ao bloco foi mantido da referência usada.

II.3.2. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Serão mostrados neste item os parâmetros usados na avaliação de desempenho do sistema QPCM. São usados basicamente dois tipos de avaliação, a objetiva e a subjetiva.

II.3.2.1. Avaliação Objetiva

Durante as simulações do sistema QPCM são usados vários parâmetros objetivos no estudo do comportamento do sistema e dos sinais característicos deste. No início dos experimentos

(investigações), não existia dado nenhum à respeito dos sinais internos, característicos do sistema QPCM. Foram usados vários parâmetros de avaliação que mostram detalhadamente o comportamento dos sinais quociente "q", quociente quantizado "q*", original "x", sinal recuperado " $\bar{x}$ " e predito " $\hat{x}$ ". Esses parâmetros foram de extrema importância na implementação de várias partes do sistema QPCM. O quantizador foi implementado e melhorado, totalmente baseado nos parâmetros de avaliação do comportamento dos sinais "q" e "q*".

Os coeficientes do preditor foram escolhidos, baseando-se em alguns parâmetros objetivos calculados. Os parâmetros mais usados (úteis) na implementação das várias partes do sistema foram as variâncias dos sinais quocientes "q" e "q*", média de todos os sinais do sistema, valor quadrático médio dos sinais "x", " $\hat{x}$ " e " $\bar{x}$ " e coeficiente de correlação entre os sinais "x" e " $\bar{x}$ " e os sinais " $\hat{x}$ " e "x".

A cada simulação realizada, são analisados todos esses parâmetros. Dessa maneira são obtidos dados objetivos importantes para a análise do comportamento do sistema e dos sinais. Assim, baseando-se nesses parâmetros e variando-se os parâmetros internos do sistema QPCM à cada simulação, foi feita a sua otimização. As equações para cálculo dos diversos parâmetros, citados acima, são mostrados a seguir.

Variância

$$\sigma_q^2 = E (q - N_q)^2 \quad (2.23)$$

Nesta equação, o símbolo E(x) significa média (valor médio de x), q representa o valor do sinal quociente, e N_q a sua média.

Média

$$N_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} i \quad (2.24)$$

Correlação

$$\rho_{\hat{x}x} = \frac{E\{[x - E(x)][\hat{x} - E(\hat{x})]\}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_{\hat{x}}^2}} \quad (2.25)$$

Os parâmetros mostrados nas equações (2.23), (2.24) e (2.25), como já foi dito, foram de extrema importância na análise do comportamento dos sinais e do sistema QPCM. Isso foi imprescindível para o conhecimento mais profundo das características e várias partes do sistema QPCM.

Para análise objetiva final do sistema é necessário um parâmetro que descreva o seu desempenho geral. São utilizados com esse intuito dois parâmetros objetivos de análise. Um desses parâmetros é a relação sinal-ruído. No Capítulo IV serão mostrados detalhadamente todos os dados do sistema QPCM, relativamente a esse parâmetro. A equação usada inicialmente, para o cálculo da relação sinal-ruído é mostrada na equação (2.26).

$$RSN = 10 \log \left(\frac{x}{x-\hat{x}} \right)^2 \quad (2.26)$$

Por motivos que serão mostrados e comentados no Capítulo IV, a equação (2.26) foi alterada. A alteração dimensiona melhor a relação sinal-ruído, as recomendações do CCIR. A equação que está sendo usada no cálculo da relação sinal-ruído é encontrada na equação (2.27)

$$RSN = 10 \log \left(\frac{180}{x - \hat{x}} \right)^2 \quad (2.27)$$

Os valores encontrados nas equações (2.26) e (2.27) para os sinais "x" e " $\hat{x}$ " são correspondentes aos níveis digitais. Isso significa valores entre "0" (zero) e "255". A relação sinal ruído, encontrada dessa maneira, é a mesma de quando são usados os valores analógicos, pois, para se conseguir o sinal analógico, basta multiplicar-se o numerador e o denominador pelo passo de quantização da conversão A/D.

Descobriu-se que a relação sinal-ruído não é suficiente para retratar de forma conclusiva o desempenho do sistema QPCM. Esse fato será notado com maiores detalhes e clareza também no Capítulo IV. Para se saber com maior clareza e profundidade como está sendo o desempenho do sistema durante as simulações, são retirados através de arquivos de dados, parâmetros para análise do comportamento do ruído. Um dos arquivos contém, distinguindo-se linha a linha, todos os pixels que são recuperados (decodificados) com ruído, ou seja, com valor distinto do original. Nesse arquivo são escritos o valor original "x", o valor recuperado (com ruído) pelo receptor " $\hat{x}$ " e o valor do ruído " $x - \hat{x}$ ". Ao final de cada linha são mostrados o número de pixels com ruído no quadro e o valor médio do ruído no quadro até aquele momento. Tem-se, então, ao final desse arquivo o número total de pixels com ruído no quadro recuperado e

também o valor médio do ruído em todo o quadro. Analisando-se esse arquivo é possível se saber em que regiões da imagem encontra-se o ruído. Fica-se sabendo também o valor absoluto médio do ruído e a porcentagem de pixels com ruído, linha a linha e em todo o quadro. Esses são dados realmente expressivos para análise de desempenho do sistema.

No outro arquivo, são escolhidas duas linhas consecutivas do quadro, para os quais são retirados vários dados (5 dados). Pixel a pixel, são mostrados no arquivo os valores dos seguintes sinais:

original " x ", recuperado " $\bar{x}$ ", predito " $\hat{x}$ ", quociente " q " e quociente quantizado " q^* ".

A cada pixel das linhas escolhidas, esse conjunto de dados, forma uma linha do arquivo de dados. Analisando-se os dados contidos nesse arquivo, pode-se observar o comportamento do ruído, nos vários tipos de regiões da imagem. Por esse arquivo, pode-se ainda observar o desempenho do preditor e a ação do quantizador. Esses dois fatores auxiliaram muito na implementação e otimização do sistema. Nos Capítulos III e IV analisar-se-á, detalhadamente o comportamento do sistema QPCM por meio desses arquivos.

Um parâmetro extremamente importante na análise de desempenho do sistema é a entropia do sinal transmitido. A entropia do sinal quociente quantizado dará a taxa de bits na linha de transmissão para o sistema QPCM. O sistema QPCM é uma "ferramenta" usada justamente para reduzir a redundância da imagem. Como foi visto no item I.1, os sistemas digitais têm como maior vantagem a redução da taxa de bits de transmissão. Assim, como objetivo final o sistema QPCM apresenta a desejada redução da taxa de bits na linha de transmissão. Portanto, a entropia do sinal quociente quantizado e a

taxa de bits na linha são parâmetros extremamente significativos na análise de eficiência do sistema QPCM. A expressão usada no cálculo da entropia é mostrada na equação (2.28).

$$H(q) = P(q) \log_2 \left[\frac{1}{P(q)} \right] \quad (2.28)$$

A parcela $P(q)$ representa a probabilidade de ocorrência do sinal "q" em todo o quadro. A equação (2.28) é usada para o cálculo das entropias dos sinais quociente "q" e quociente quantizado "q*^{*}". Através da comparação desses dois parâmetros, consegue-se a eficiência do quantizador na redução da taxa de bits. A comparação da entropia do sinal quociente quantizado com o número de bits/palavra do sinal de entrada dá a eficiência de todo o sistema QPCM.

Para se conseguir a taxa de bits na linha do sistema QPCM, basta multiplicar a entropia do sinal quociente quantizado pela frequência de amostragem. A equação (2.29) mostra a expressão usada no cálculo.

$$R = H(q) \cdot f_a \quad (2.29)$$

Todas as análises numéricas e suas interpretações físicas com relação a todos os parâmetros objetivos serão feitas nos dois capítulos seguintes.

II.3.2.2. Avaliação Subjetiva

A avaliação subjetiva do sistema QPCM é feita pela

visualização das imagens processada e original. Para a visualização, é utilizado um sistema de tratamento de imagens (Sitim) da Engespaço. O Sitim é dotado de um monitor de alta resolução. As avaliações das imagens processadas pelo sistema são feitas colocando-se lado a lado no monitor as imagens processada e original. O Sitim processa arquivos binários, sendo que os arquivos das imagens a serem visualizados devem estar nas três primárias R, G e B. Como os arquivos de saída do sistema QPCM, ou seja, as imagens a serem visualizadas estão na forma composta PAL-M, é necessário a decomposição das imagens nas primárias R, G e B. Para essa finalidade é usado um programa dedicado e desenvolvido para esse fim. A sigla MRGB dado ao programa foi mantido da referência usada [15]. A Fig. II.12 mostra o diagrama em blocos do sistema QPCM com a decomposição da imagem nas primárias R, G e B.

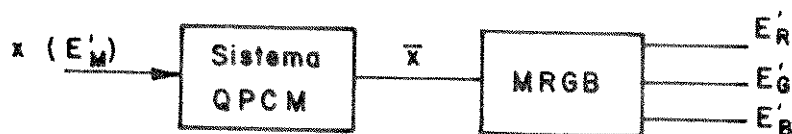


Fig. II.12 - Sistema para decomposição da imagem processada nas primárias R, G e B

O sinal E'_M da Fig. II.12 corresponde ao sinal de entrada "x" e o sinal " $\bar{x}$ " ao recuperado localmente pelo sistema QPCM. Os sinais E'_R , E'_G e E'_B , correspondem aos sinais digitais das cores verme-

lho, verde e azul, respectivamente. O bloco MRGB realiza o processo inverso do bloco RGBM como mostrado na Fig. II.11.

O critério usado na avaliação das imagens já processadas é o recomendado pelo CCIR [16]. Usar-se-á nesse trabalho a escala de degradação de imagem com 5 graus. A Tab. II.2 reproduz a escala.

Tab. II.2 - Escala de Degradação

grau	Degradação
5	Imperceptível
4	Perceptível não perturbadora
3	Levemente perturbadora
2	Perturbadora
1	Muito perturbadora

Para as avaliações do sistema serão usadas as imagens 02, 04 e 15 da SMPTE.

CAPÍTULO III

PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO

CAPÍTULO III

PREDIÇÃO E QUANTIZAÇÃO

Neste capítulo serão vistas com detalhes as partes do sistema QPCM que necessitaram de um estudo de maior profundidade e que foram implementadas em linguagem FORTRAN, para simulação no sistema VAX/VMS. Serão mostrados o preditor e o quantizador do sistema QPCM. Serão analisadas detalhadamente as técnicas usadas na implementação dessas partes. O comportamento dos sinais intrínsecos, característicos do sistema QPCM, será estudado em profundidade nas simulações com imagens reais. Cada um dos sinais será visto no item relativo à parte do sistema da qual ele é dependente.

III.1. - PREDIÇÃO

O objetivo deste trabalho, desde o início, foi alcançar a maior simplicidade possível na implementação dos preditores. Devido a essa exigência, foi eliminada já no início do trabalho, quando ainda estavam sendo feitos estudos com o sistema DPCM, a técnica de amarração de fase, chamada de TAF. A TAF consiste na fixação da fase inicial de amostragem do sinal de vídeo, em relação ao seno ou cosseno, da componente de crominância do sinal composto PAL. Essa

técnica é usada para predição interlinhas dentro de um mesmo campo. Ou seja, quando o preditor utiliza, na predição da amostra atual, amostras de linhas anteriores de um mesmo campo. Linhas estas, onde a fase da componente V do sinal de crominância, é distinto da linha atual.

A TAF é usada justamente devido ao chaveamento PAL, na fase da componente V da crominância, entre linhas de um mesmo campo. Na Fig. III.1, pode ser visto o mosaico de amostras, com fase amarrada, em relação ao zero do cosseno da componente V do sinal de crominância. A frequência de amostragem do mosaico da Fig. III.1, é $(8/3) f_{sc}$. Nessa Fig. III.1, são mostrados o tipo da amostra e o seu respectivo sinal para a componente de crominância. Nela tem-se :

- $x_{i,j}$ - amostra atual
- j - linha atual
- $j+1$ - linha anterior do mesmo campo
- $j+2$ - segunda linha anterior do mesmo campo

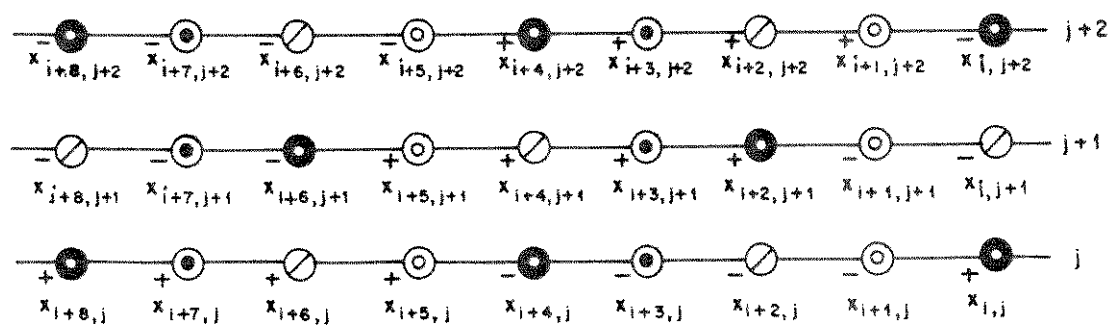


Fig. III.1 - Mosaico de amostras para $f_a = (8/3) f_{sc}$, $\theta_{\uparrow}$ do cos

Na Fig. III.2, vê-se o sistema de numeração das linhas, dos

dois campos de um quadro, com o respectivo sinal, correspondente ao chaveamento PAL na componente V do sinal de crominância.

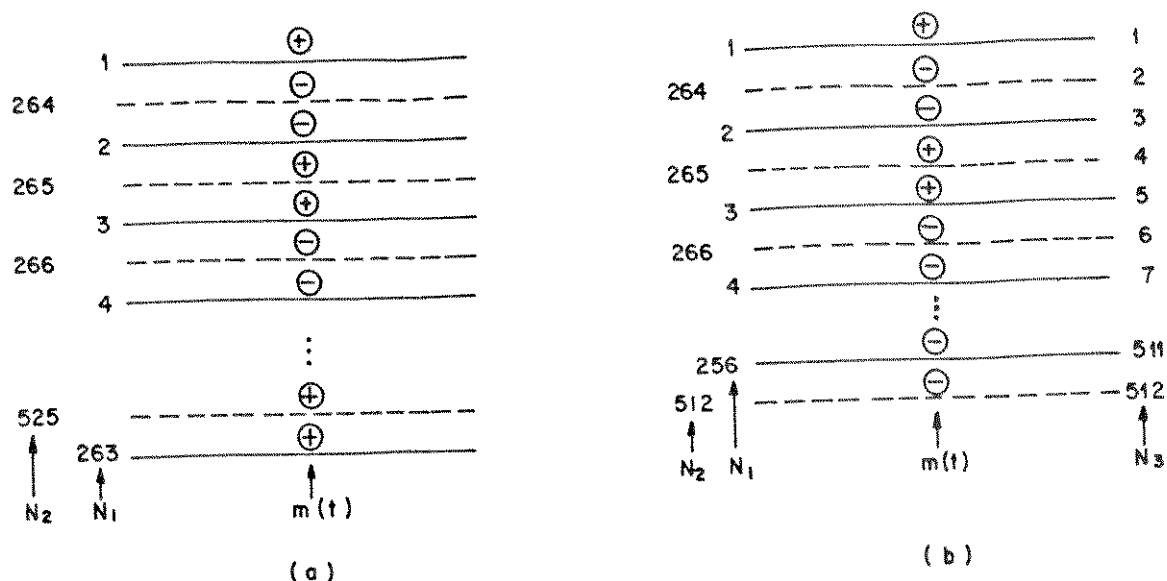


Fig. III.2 - Numeração das linhas de varredura

(a) comum ; (b) SMPTE

onde: N1 - campo 1

N3 - Quadro

N2 - campo 2

m(t) - fase correspondente ao chaveamento PAL

Na implementação dos preditores, com amarração da fase inicial de amostragem, é exigida uma complexidade muito alta. Como o objetivo principal para o preditor é a simplicidade, devido à complexidade exigida na implementação, foi descartado o uso de TAF. Era necessário, então, que se adotasse um esquema de predição, que não fizesse uso da TAF, porém, que o sistema, como um todo,

apresentasse um desempenho satisfatório.

O preditor deveria também ser do menor grau possível, o que significa usar o menor número possível de amostras, na predição. Os coeficientes de predição deveriam ser constantes e também apresentar uma gama de variação a mais restrita possível, diminuindo-se assim a sua complexidade ao mínimo. Optou-se, dessa maneira, por um esquema de predição, que é o mais simples que se pode ter.

Com um software já existente para simulação do sistema DPCM [15], foram feitas várias simulações para se testar o desempenho, tanto do preditor escolhido como do sistema DPCM. O sistema de predição escolhido foi extremamente simples de se implementar.

O preditor, como já era esperado, não apresentou bom desempenho, obviamente, devido a sua extrema simplicidade. Seu desempenho foi considerado razoável. O esquema de predição escolhido será mostrado com todos os detalhes, ainda nesta seção. E o desempenho nas seções seguintes, ainda neste capítulo.

Neste trabalho partiu-se, dessa maneira, para o estudo de uma adaptação do sistema DPCM que fizesse com que o processamento do sinal, nessas condições, apresentasse uma qualidade satisfatória para TV comercial. Necessitava-se de um sistema que apresentasse a magnitude do erro de quantização, extremamente reduzido, muito menor que a do sistema DPCM, devido ao erro de predição elevado, em certas áreas da imagem. Outra exigência é que o sinal resultante da operação, entre o sinal de entrada e o predito exerça a função de fator de correção na recuperação do sinal de entrada. Manteve-se, assim, a mesma estrutura do sistema DPCM, fazendo-se uma troca nas operações realizadas por ele. Assim, como já se sabe, a subtração realizada entre os sinais de entrada e predito foi substituída pela divisão. A

operação de soma, para recuperação do sinal de entrada, teve que ser mudada então, para multiplicação. Essa multiplicação é realizada entre o sinal quociente e o predito, sendo que o sinal quociente funciona como um fator de correção da predição, na recuperação do sinal de entrada.

Com o sistema QPCM, uma adaptação do sistema DPCM, conseguiu-se um desempenho não só satisfatório, mas muito bom, mesmo com o esquema de predição extremamente simples. O desempenho desse sistema será mostrado com todos os detalhes no capítulo seguinte.

Foi então alcançado, com o sistema QPCM, o objetivo de simplicidade máxima, com bom desempenho.

III.1.1 - ESQUEMA DE PREDIÇÃO DO SISTEMA QPCM

O preditor do sistema QPCM é de terceiro grau. Isso quer dizer que são usadas três amostras prévias na predição da amostra atual. As amostras usadas na predição são todas do mesmo campo, sendo duas delas da linha anterior. A fase da componente V, das amostras da linha anterior (devido ao chaveamento PAL, entre linhas adjacentes de um mesmo campo), não são consideradas. O que significa ausência da TAF. Na Fig. III.3, são vistas a amostra atual e as três que são utilizadas na sua predição.

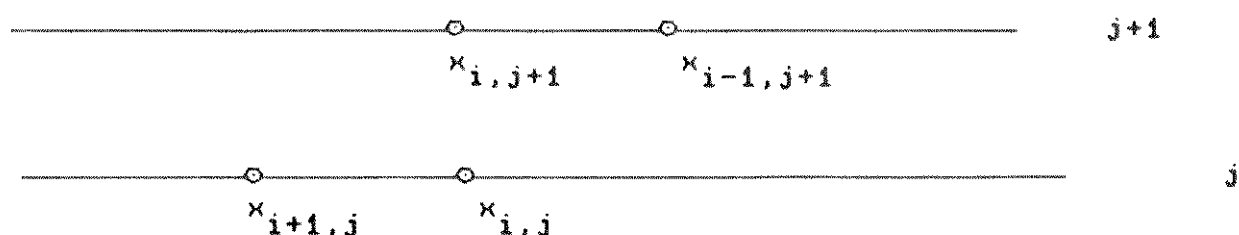


Fig. III.3 - Mosaico das amostras utilizadas pelo preditor do sistema QPCM

Na Fig. III.3, tem-se:

- j → linha atual
- j+1 → linha anterior do mesmo campo
- $x_{i,j}$ → amostra atual
- $x_{i+1,j}$ → amostra anterior da linha atual
- $x_{i,j+1}$ → amostra alinhada na vertical com a amostra atual na linha anterior
- $x_{i-1,j+1}$ → amostra imediatamente posterior à atual, na linha anterior

A equação usada pelo preditor, na previsão da amostra atual, é mostrada na Eq. (3.1).

$$\hat{x}_{i,j} = A x_{i+1,j} + B x_{i,j+1} + C x_{i-1,j+1} \quad (3.1)$$

Essas três amostras foram escolhidas pelo fato de serem as mais próximas da atual. Apresentando, por esse motivo, um alto fator de correlação com a amostra a se prever.

O grau escolhido para o preditor foi 3º, para simplificar ao máximo o sistema de predição, pois, quanto maior é o grau, maior o número de memórias utilizadas e maior a complexidade.

Na Eq. (3.1), A, B e C são os coeficientes de predição. Como já foi dito anteriormente, eles serão constantes. Procura-se restringir ao máximo os valores possíveis para esses coeficientes. Quanto maior a gama de valores possíveis para eles maior será o número de bits, necessários para representar o resultado do produto entre a amostra e seu respectivo coeficiente.

No início das simulações, foram testados os valores "0" (zero) e "±1", porém, com essa restrição, o preditor apresentou um desempenho muito ruim, fazendo com que, na avaliação, o desempenho do sistema QPCM também fosse considerado ruim. Assim, expandiu-se a gama de valores possíveis para os coeficientes de predição.

No preditor de que está fazendo uso o sistema QPCM, os valores dos coeficientes são $1/2$, $1/4$ e $3/4$. Estão sendo usados em modo fixo dois tipos de preditores que se diferenciam apenas pelos coeficientes. Nos itens seguintes serão mostrados esses dois preditores.

III.1.2. - O PREDITOR 1

Na escolha dos coeficientes do primeiro preditor, usou-se o critério que se descreve a seguir. A amostra anterior da mesma linha é a que apresenta maior correlação com a amostra atual, devido a sua proximidade com essa. Por esse motivo, foi dado ao seu coeficiente um

peso maior que as das outras amostras que são usadas na predição. O coeficiente "A" ficou, então, com valor 1/2, aos coeficientes "B" e "C" foi dada a metade do peso desse coeficiente. Pelo fato de as amostras, a que correspondem esses coeficientes, terem um fator de correlação menor com a amostra atual. Assim, os coeficientes "B" e "C" ficaram com o mesmo valor que é 1/4. A equação de predição usada pelo primeiro preditor fica então como a mostrada na eq. (3.2).

$$\hat{x}_{i,j} = \frac{1}{2} x_{i+1,j} + \frac{1}{4} x_{i,j+1} + \frac{1}{4} x_{i-1,j+1} \quad (3.2)$$

Este preditor será chamado, daqui para frente, de preditor número 1, ou simplesmente, preditor 1.

Os coeficientes de predição, na realidade, são os fatores de peso para as amostras do preditor. Eles assemelham-se a fatores de correção para estas que têm maior ou menor correlação com a amostra atual, dependendo do tipo de área em que ela se encontre.

O preditor 1 apresenta desempenho razoável. Em áreas uniformes da imagem, ele apresenta bom desempenho, convergindo para o valor exato da amostra atual em apenas 3 pixels (elementos de imagem). Entende-se por área uniforme, ou homogênea, aquela que não apresenta detalhes e nem tampouco mudanças de cor. Contudo, em áreas da imagem que têm muitos detalhes, esse preditor não apresenta bom desempenho. Nesse tipo de área, ele nunca converge para o valor exato do pixel, ficando muitas vezes com uma diferença entre 10 e 20% do valor da amostra atual. Isso significa uma diferença razoavelmente grande, mesmo em áreas com muitos detalhes. Esse desempenho ruim do preditor, em certos tipos de área, se deve à extrema simplicidade do

esquema de predição.

O desempenho apenas razoável do preditor não significa, porém, que o sistema QPCM não apresentará boa qualidade final para a imagem processada. Mesmo com um preditor de desempenho global não muito bom, o sistema, como um todo, tem a sua qualidade, tanto objetiva como subjetiva, consideradas muito boas. Esse ponto será abordado com detalhes no Capítulo IV.

Com o preditor número 1, o sinal quociente apresenta uma concentração de níveis em torno do valor "1". Isso ocorre nas simulações com imagens reais. Todos os dados que serão apresentados, desse ponto em diante, são obtidos nas simulações com imagens reais. Como já se sabe, as imagens utilizadas são as padrão da SMPTE, de números 02, 04 e 15.

Para este preditor, tem-se uma concentração de 13,92% de todo o quadro, somente em cima do valor "1". Quando se diz que há uma concentração de n%, significa que essa porcentagem de pixels do quadro apresenta o sinal quociente, que é a divisão do seu nível digital pelo do sinal predito, concentrado nesse ponto ou intervalo. Essa porcentagem é também a frequência de ocorrência do quociente na saída do sistema.

A maior parte do quadro encontra-se concentrada entre os valores "0,9" e "1,11" do sinal quociente. Quase que a totalidade do quadro encontra-se concentrado entre os valores "0,5" e "2". A porcentagem do quadro, concentrada nesse intervalo é de 96,97%. Isto significa, 97% do quadro está concentrado em um intervalo onde o erro de predição é no máximo 100%. Essa é uma porcentagem de erro muito alta, mas apenas a pequena minoria dos pixels desse intervalo chegam

perto dessa magnitude de erro. Será visto mais à frente, que a grande maioria dos pixels encontra-se em um intervalo em que o erro de predição é no máximo 10%.

Entre o valor "0" (zero) e "0,5" do sinal quociente, tem-se apenas 1,69% de todo o quadro, uma porcentagem absolutamente desprezível. Com o preditor 1, o valor máximo que se tem para o sinal quociente é 15. Apesar de teoricamente esse sinal apresentar valor máximo 255. Somente 1,34% de todo o quadro encontra-se entre os valores "2" e "15", uma quantidade também desprezível. Assim, tem-se apenas 3,03% de todo o quadro, com erro de predição maior que 100%. O que equivale à porcentagem do sinal quociente, que fica fora do intervalo que vai de "0,5" a 2. Para esse sinal, os valores "0,5" e 2 são simétricos em relação ao elemento neutro da divisão que é o valor "1".

No intervalo que vai de "1,5" a "2" estão concentrados apenas 1,72% de todo o quadro. Assim, chega-se a uma concentração de 95,25% de todo o quadro, apenas entre "0,5" e "1,5". Na Fig. III.4, mostra-se os dados citados acima, dentro do intervalo de variação real do sinal quociente. O eixo horizontal representa esse sinal, que é a divisão do sinal de entrada pelo predito, nas três figuras que se seguem.

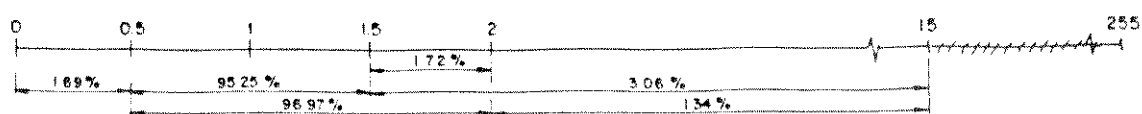


Fig. III.4 - Porcentagens do quadro que se encontram dentro dos principais sub-intervalos do sinal quociente, entre "0" e "15", para o preditor 1.

Será detalhado, agora, o intervalo entre "0,5" e "2". Ter-se-á uma melhor visão do desempenho do preditor 1, à medida em que se detalhar mais os sub-intervalos. Esses dados são também de grande utilidade na implementação dos quantizadores.

Será visto daqui para frente, para o preditor 1, sempre a porcentagem do quadro, em intervalos entre valores simétricos em relação ao elemento neutro da divisão, que é "1". Assim, ter-se-á uma melhor idéia do desempenho do preditor.

Foi visto anteriormente que se tem aproximadamente 97% de todo o quadro, entre "0,5" e "2". Destes 97%, 93,67% ficam em um intervalo, que corresponde a um erro de predição máximo de 50%, isto é, entre os valores " $0,666(1/1,5)$ " e "1,5". Com erro de predição máximo de 33,33...%, encontra-se 91% do quadro. Para erro máximo de 25%, tem-se 87,57% do quadro, com 18% de erro máximo, 82%, e, finalmente, o preditor erra no máximo de 11,11% em 74,04% dos pixels do quadro.

Para se obter a porcentagem do quadro, que se encontra entre uma faixa de erro e outra, basta subtrair-se da porcentagem da faixa de maior erro a porcentagem do quadro da faixa de menor erro. Por exemplo, entre 33 e 50% encontra-se apenas 3,3% de todo o quadro. Ou seja, 96,97% (porcentagem da faixa de erro de predição máximo de 50%) menos 93,67% (porcentagem da faixa de erro até 33,33% na predição). É necessário, a partir deste ponto, cuidado para não se misturar, o que pode causar confusão, o intervalo de variação do sinal quociente de erro de predição máximo, com a porcentagem dos pixels do quadro que estão dentro desse intervalo. O intervalo de variação do erro de predição é também diferente do intervalo de variação do sinal quociente, apesar de existir uma relação entre ambos. Os dados aqui apresentados, para o preditor 1, foram obtidos na simulação do sistema QPCM, com a imagem padrão número 4 (Zelda) da SMPTE. Os preditores, tanto o 1 como o que ainda será visto, apresentam um comportamento semelhante para as três imagens padrão.

Na Fig. III.5 a seguir, são vistas as porcentagens dentro do intervalo "0,5" a "2" do sinal quociente.

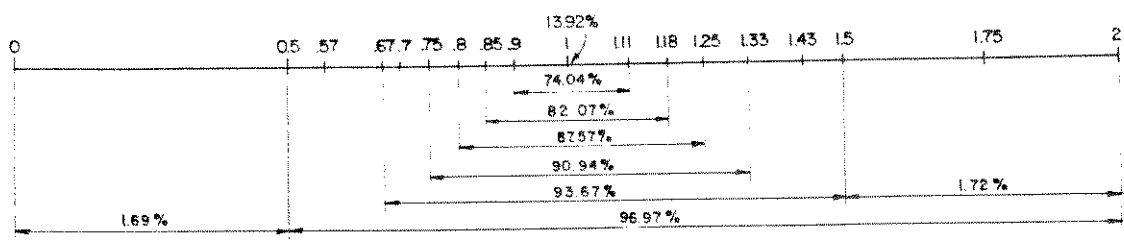


Fig. III.5 - Porcentagens do quadro correspondentes a erro máximo de predição entre 11% e 100%.

Será detalhado o comportamento do preditor, para erros de predição menores do que 11%, pelo fato de esta ser a faixa mais importante do sinal quociente.

Para erros na predição entre 8,7 e 11,11%, um intervalo de apenas 2,41% de variação do erro de predição, tem-se aproximadamente 6% dos pixels. Para erros de predição entre 6,4% e 8,7% do valor digital da amostra atual, encontra-se 8,5% do quadro, uma parcela extremamente alta, para um intervalo tão reduzido do sinal quociente (erro de predição). Na faixa entre 5,3 e 6,4% de erro na predição, estão 5,44% do quadro. Neste ponto, observa-se que 54,12% de todos o pixels do quadro encontram-se na faixa de erro máximo de predição de 5,3%. Essa magnitude de erro na predição é considerada extremamente pequena. Na Fig. III.6 tem-se as porcentagens do quadro para as faixas de erro na predição abaixo de 11%.

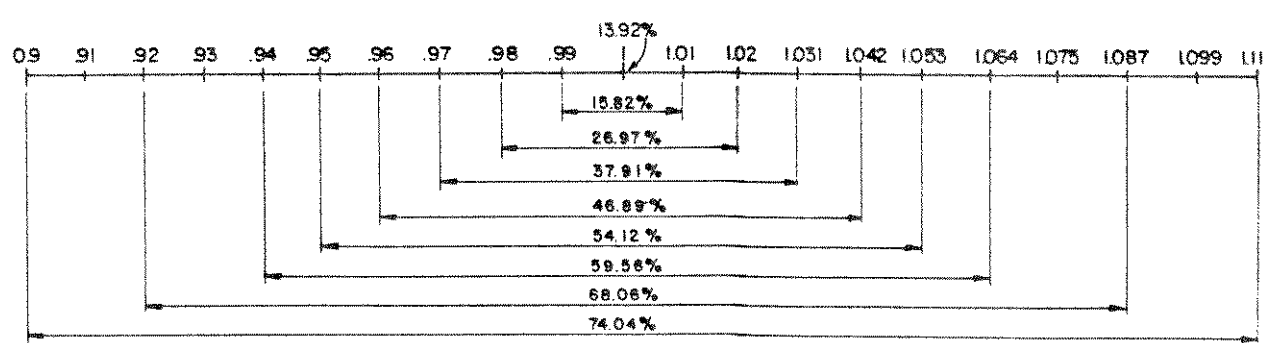


Fig. III.6 - Porcentagens do quadro na faixa de variação do sinal quociente entre "0,9" e "1,11", que equivale a erros na predição abaixo de 11,11%.

Na Fig. III.6, vê-se que a predição tem erro 0 (zero) em 13,92% do quadro. Existe uma curiosidade nessa faixa, para um erro na predição entre " 0^+ %" e 1%, tem-se apenas 1,9% do quadro. No intervalo seguinte, com a mesma variação no erro de predição, ou seja, entre 1 e 2%, tem-se 11,15% de todo o quadro.

Pelas Fig. III.4, Fig. III.5 e Fig. III.6, nota-se claramente que a concentração (de níveis) do sinal quociente, aumenta à medida que se aproxima do valor 1. Esse fato irá beneficiar a quantização, em virtude de que, quanto mais próximo de 1, menor deve ser o erro de quantização.

Deve ser feita neste ponto uma observação de extrema importância. Na faixa de erro de predição máximo de 50%, concentra-se aproximadamente 93% de todo o quadro. Esta magnitude de 50% é considerada muito grande para o erro, porém, no sistema QPCM, esse fator não é importante na recuperação do sinal original. O ponto chave é o erro de quantização nessa faixa do sinal quociente. Esse erro é extremamente pequeno nesse sistema. Desse fato, resultará um sinal recuperado com excelente qualidade. No item em que é analisado a quantizador, será tratado com bastante detalhe o erro de quantização nas várias regiões.

III.1.3 - O PREDITOR 2

O segundo preditor implementado para o sistema QPCM manteve exatamente a mesma configuração do primeiro. Esse preditor será chamado de preditor número 2, ou simplesmente preditor 2. A diferença

entre os preditores é o peso maior dado a amostra $x_{i+1,j}$, na equação de predição do preditor 2. Essa é a amostra imediatamente anterior à atual, da mesma linha. Ao coeficiente dessa amostra, que é o "A", foi dado o "peso" $3/4$. Os coeficientes "B" e "C" permaneceram com o mesmo valor do preditor 1. O mosaico das amostras usadas pelo preditor pode ser visto na Fig. III.3. Com $A=3/4$ e $B=C=1/4$, a equação de predição do preditor 2 é mostrada a seguir na eq. (3.3).

$$\hat{x}_{i,j} = \frac{3}{4} x_{i+1,j} + \frac{1}{4} x_{i,j+1} + \frac{1}{4} x_{i-1,j+1} \quad (3.3)$$

Esse preditor é o que apresenta melhor desempenho, em termos de relação sinal-ruído. No capítulo seguinte, serão mostrados os resultados das simulações com vários preditores, variando-se os coeficientes de predição, e não apenas dos de número 1 e 2.

No preditor 2, existe uma concentração do sinal quociente, maior do que a encontrada no 1. A concentração de níveis desse preditor, entretanto, é ao redor do valor "0,8". O maior valor encontrado nas simulações para o sinal quociente foi "19", sendo "255" o teórico. Entre os valores 2 e 19, tem-se 1,07% de todo o quadro, e entre "0" (zero) e "0,5", tem-se 1,98%. Isso significa que esse preditor erra acima de 100% em apenas 3,5% de todos os pixels do quadro. Será visto no Capítulo IV que essa porção da imagem, normalmente encontra-se fora da faixa de visão do olho humano.

Entre "1,5" e "2,0" está apenas 0,39% dos pixels, e 2,55% do quadro está entre "1" e "1,5". No intervalo entre "0,6" e "1,5" tem-se 95,18% do quadro. Tem-se, então, 92,63% entre "0,6" e "1". Entre "0,9" e "1" está 4,72%. Chega-se, então, a uma parcela enorme

do quadro, dentro de um intervalo de apenas "0,2" do sinal quociente. Está localizado entre "0,7" e "0,9", 83,75% da imagem, essa porcentagem está dividida quase que igualmente entre os dois lados de "0,8" sendo que em "0,8" tem-se 3,12% dos pixels. Aqui, como no caso do preditor 1, o fator de maior relevância é que se tem a grande maioria do quadro concentrado em uma região em que o erro de quantização é extremamente pequeno. Isso irá resultar em boa qualidade para o sinal recuperado.

Todos os dados do preditor 2 foram obtidos em simulações com a imagem 15 (cozinha). Na Fig. III.7 são mostradas as porcentagens de pixels do quadro que se encontram nos diversos intervalos do sinal quociente.

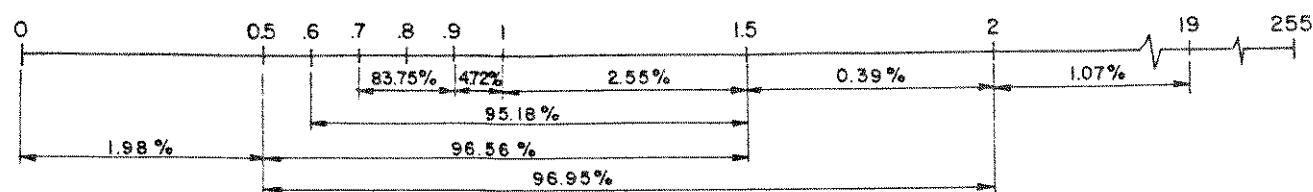


Fig. III.7 - Porcentagens do quadro que se encontram nos diversos sub-intervalos do sinal q, para simulações com a imagem 15 da SMPTE e o preditor 2 do sistema QPCM

Na Fig. III.8, tem-se as diversas porcentagens para os sub-intervalos entre "0,5" e "1". Pode-se ver que entre "0,7" e "0,8" tem-se quase a mesma proporção que entre "0,8" e "0,9", sendo que nesse último intervalo situa-se uma parcela maior do quadro.



Fig. III.8 - Porções da imagem situadas nos sub-intervalos entre "0,5" e "1" para imagem 15 e preditor 2

No preditor 2 existe uma concentração de pixels entre "0,7" e "0,9", cerca de 10% maior que a existente no preditor 1, no intervalo de mesmo comprimento, entre "0,9" e "1,1". Isso significa melhor qualidade de imagem para o sinal recuperado, no caso do preditor 2. O intervalo entre "0,7" e "0,9" do sinal quociente será o principal da quantização, quando o sistema QPCM estiver fazendo uso desse preditor. Para o preditor 1, obviamente, o intervalo principal é entre "0,9" e "1,1".

Continuando com o preditor 2, quanto mais perto se chega do valor "0,8" maior será a concentração de pixels em intervalos de menor comprimento. Entre "0,72" e "0,88" tem-se 79,59%, diminuindo-se esse intervalo "0,02" em cada lado, ou seja, entre "0,74" e "0,86", tem-se 70,59%. Como anteriormente, para obter a porcentagem do quadro, que se encontra entre dois intervalos, basta subtrair a porcentagem que se encontra no intervalo menor da que está no intervalo maior. Por exemplo, olhando-se a Fig. III.9, nota-se que em um intervalo de apenas "0,02" do sinal q, entre os intervalos "0,75" a "0,85" e "0,76" a "0,84", tem-se 9,93% do quadro. Isso representa

o resultado da subtração, 64,26 menos 54,33. Na Fig. III.9, vê-se todas as distribuições dos sub-intervalos entre "0,7" e "0,9". Pode-se ver que entre "0,77" e "0,83" tem-se 42,69%, entre "0,78" e "0,82", 30,02%, e entre "0,79" e "0,81", tem-se 15,7% dos pixels. Em todo o quadro, 3,12% dos pixels têm o sinal quociente igual a "0,8".

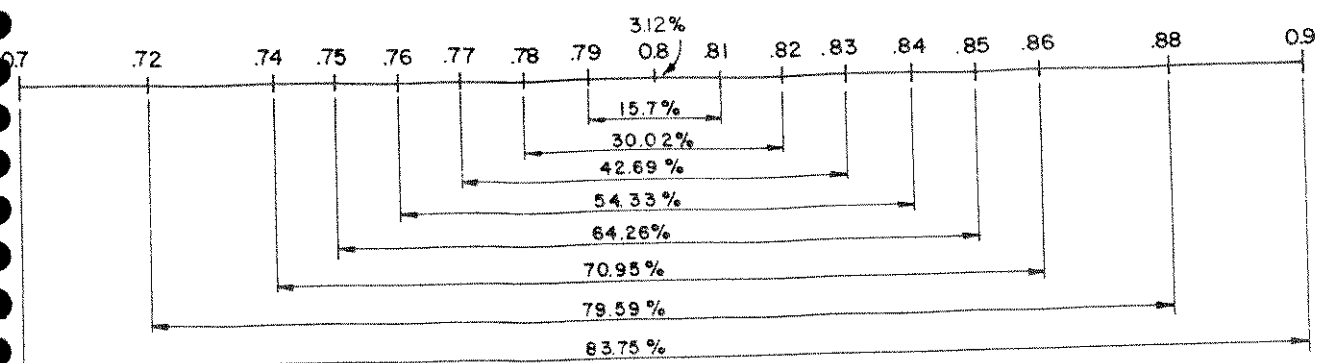


Fig. III.9 - Distribuição dos pixels do quadro nos sub-intervalo entre "0,7" e "0,9" para imagem 15 e o preditor 2

Nestes dois últimos itens, foram vistas as características dos dois principais preditores do sistema QPCM. Elas são de extrema importância na implementação dos quantizadores. Para comparação, serão mostrados no Capítulo IV os resultados obtidos com cada um dos preditores.

III.2. - QUANTIZAÇÃO

O quantizador se mostrou desde o início dos estudos, como uma peça chave do sistema QPCM. É essa parte do sistema que faz com

que o sinal transmitido apresente baixa taxa de bits, considerando-se o sinal de TV comercial. O quantizador tem a função de reduzir a taxa de bits do sinal quociente para menos da metade. Isso é feito mantendo-se alta qualidade para o sinal recuperado no receptor, o que só é possível devido ao baixíssimo erro de quantização desse sistema. Esse erro extremamente pequeno, deve-se às características do sinal quociente. Essas características serão analisadas com profundidade ainda neste capítulo, através do estudo da função densidade de probabilidade (PDF) desse sinal. O erro será tanto menor, felizmente, quanto maior for o interesse visual pela região de quantização. As regiões de quantização que apresentam maiores erros são as de menor importância. Esse fator é muito importante para a qualidade final da imagem recuperada.

O primeiro software implementado para simulação do sistema QPCM, como já se disse anteriormente, foi feito através de uma adaptação de um já existente [15], para simulação do sistema DPCM. Nesse primeiro sistema implementado, a quantização era 1:1, o que equivale a não existir quantização. Dessa maneira o sistema fica como mostrado na Fig. III.10.

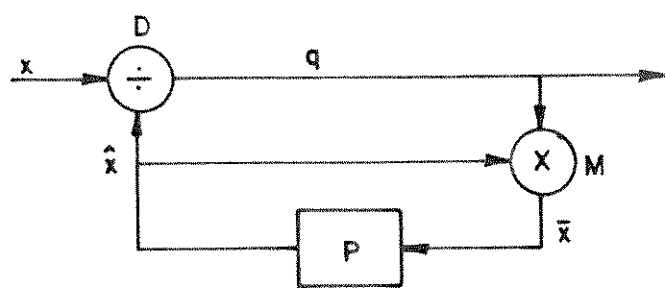


Fig. III.10 - Sistema QPCM com quantização 1:1

Nesse caso, o erro de quantização é zero, o que propicia um sinal recuperado, idêntico ao de entrada. Porém, a taxa de bits na linha de transmissão é muito alta, como se vê pela Fig. III.10. A entropia do sinal quociente varia entre 9 e 10.5 bit/amostra, depende do preditor que se está usando. Isso resulta para o sinal transmitido uma taxa de bits na linha, em torno de 100 Mb/s.

Iniciou-se, então, o estudo para implementação do quantizador. Decidiu-se pelo uso da PDF do sinal quociente, para a implementação e aperfeiçoamento deste, pois, se tinha acesso à estatística do sinal a se quantizar [11]. Todos os quantizadores desse sistema serão estatísticos.

III.2.1. - QUANTIZAÇÃO DO SINAL QUOCIENTE

A quantização do sistema QPCM é feita também por regiões. O comprimento de palavra na saída do quantizador será variável e cada região de quantização tem um comprimento de palavra diferente. Na Fig. III.11, é mostrada a faixa de variação do sinal quociente, com as várias regiões de quantização, e a saída quantizada.

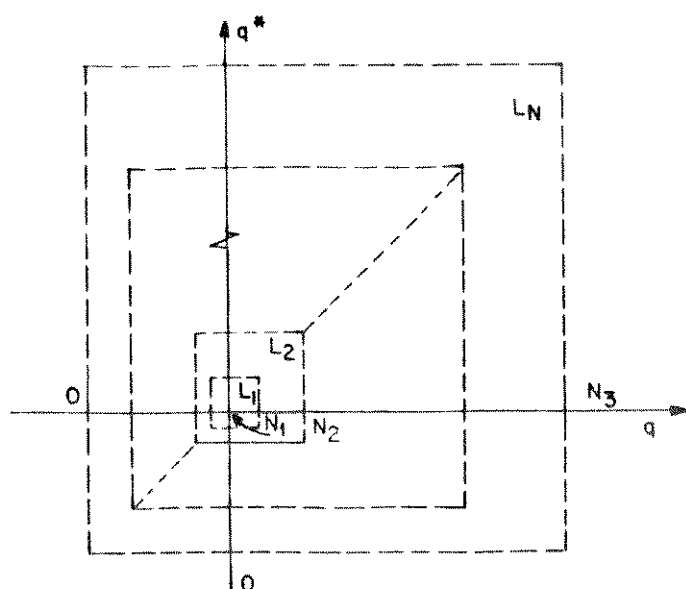


Fig. III.11 - Regiões de quantização do sinal quociente

Na Fig. III.11 acima, L_1 , L_2 , ... e L_N , são os comprimentos de palavra das regiões 1, 2, ... e N, respectivamente. O nível central da quantização, que é N_1 , será variável, por isso, não foi explicitado o seu valor. No caso dos quantizadores desse trabalho tem-se dois valores para N_1 . São eles "0,8" e "1". Como nas simulações práticas, o valor máximo do sinal quociente é muito menor que 255 e depende do preditor usado, ele foi representado pela variável "N3".

Como pode-se perceber pela Fig. III.11, a quantização não será simétrica em torno do ponto N_1 , o que representa uma situação oposta ao sistema DPCM. O passo de quantização também não será linear, ele aumentará à medida que se afasta do ponto N_1 . A quantização desse sistema é extremamente peculiar, observando-se atentamente

a Fig. III.11, nota-se que os passos distantes de N_1 , em seu lado direito, serão exageradamente maiores que os do seu lado esquerdo. A Fig. III.12 mostra um esboço de como é feita a quantização. Nela pode-se ver como variam os passos de quantização.

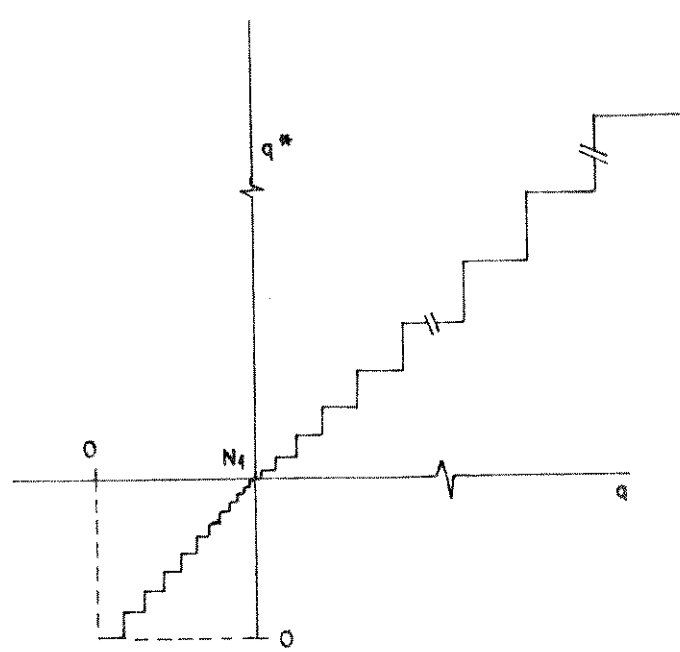


Fig. III.12 - Quantização do sinal quociente

Os quantizadores implementados para o sistema QPCM têm 4 regiões de quantização distintas. Os comprimentos de palavras escolhidos são mostrados a seguir na eq. (3.4).

$$L_1 = 1, L_2 = 3, L_3 = 9, L_4 = 11 \tag{3.4}$$

O cálculo do número de palavras de cada região é mostrado a seguir.

1ª região

$$T_1 = 2^{L_1} - 1 \quad (3.5)$$

$$T_1 = 2^1 - 1 \quad (3.6)$$

$$T_1 = 1 \quad (3.7)$$

2ª Região

$$T_2 = 2^{(L_2 - L_1)} - 1 \quad (3.8)$$

$$T_2 = 2^{(3-1)} - 1 \quad (3.9)$$

$$T_2 = 3 \quad (3.10)$$

3ª Região

$$T_3 = 2^{(L_3 - L_2)} - 1 \quad (3.11)$$

$$T_3 = 2^{(9-3)} - 1 \quad (3.12)$$

$$T_3 = 63 \quad (3.13)$$

4ª Região

$$T_4 = 2^{(L_4 - L_3)} - 1 \quad (3.14)$$

$$T_4 = 2^{(11-9)} - 1 \quad (3.15)$$

$$T_4 = 3 \quad (3.16)$$

O número total de níveis de quantização é igual a à soma de todas as regiões.

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3.17)$$

$$T = 1 + 3 + 63 + 3 \quad (3.18)$$

$$T = 70 \quad (3.19)$$

Nas Eq. (3.5) a Eq. (3.19) mostra-se como se chegou a 70 níveis de saída. O comprimento de apenas um bit foi escolhido para a primeira região de quantização, pelo fato de o seu nível de saída ser "N1". Ele apresenta uma frequência de ocorrência altíssima, na saída do sistema, chegando a atingir em alguns casos 40%. Tendo uma incidência tão alta, a palavra que representa esse nível deve ter o menor comprimento possível. Isso irá contribuir positivamente na diminuição da taxa final de bits na linha. Para a segunda região de quantização, foi escolhido também um comprimento reduzido. Isso porque os níveis vizinhos a "N1" apresentam também uma alta frequência de ocorrência. Visou-se sempre reduzir ao máximo a taxa de bits na linha.

O quantizador com 70 níveis de saída descrito acima é o principal e que apresenta melhores resultados. Porém, foram implementados quantizadores com diferentes números de níveis de saída. Um quantizador com 21 níveis foi desenvolvido para testes com o sistema usando o preditor 2. Os outros quantizadores terão a saída variando entre 60 e 70 níveis. Os resultados das simulações, com todos os quantizadores, serão mostrados no Capítulo IV.

Para o estudo da estatística do sinal quociente, na implementação do primeiro quantizador, foi tirado uma listagem em um arquivo que continha os seguintes dados:

VQ(X) - Valores de todos os quocientes presentes no quadro, em ordem

decrecente.

NVA(X) - Número de vezes que cada quociente aparece em todo o quadro.

PQA(X) - Porcentagem total do quadro que é ocupado por cada quociente, sendo que $PQA(X) = \frac{NVA(X)}{NP}$, onde NP é o número total de pixels do quadro.

X - é o número do quociente, sendo 1 para o maior quociente encontrado dentro do quadro. No quociente 0 (zero) X é o número total de quocientes distintos em todo o quadro.

Essas 4 informações a respeito do sinal quociente formam cada linha do arquivo de dados. Na Fig. III.13 a seguir, é mostrada a 1ª página desse arquivo que foi retirado em simulação do sistema QPCM com a imagem 15, usando o preditor 1.

NX=15		A=0.7500		B=0.2500		C=0.2500	
VQ1(1)=	19.0000000000000000	NVA(1)=	214	1	NVT=	743	PQA(1)=0.0006378817
VQ1(3)=	15.0000000000000000	NVA(3)=	243	2	NVT=	486	PQA(3)=0.0007310993
VQ1(6)=	10.0000000000000000	NVA(6)=	244	3	NVT=	752	PQA(6)=0.0007343137
VQ1(7)=	8.0000000000000000	NVA(7)=	504	4	NVT=	1256	PQA(7)=0.0015205779
VQ1(10)=	6.3333334922790527	NVA(10)=	214	5	NVT=	1501	PQA(10)=0.0006378817
VQ1(12)=	5.0000000000000000	NVA(12)=	243	6	NVT=	1744	PQA(12)=0.0007778849
VQ1(18)=	3.5000000000000000	NVA(18)=	227	7	NVT=	2005	PQA(18)=0.0007296689
VQ1(19)=	3.3333332538604736	NVA(19)=	24	8	NVT=	2247	PQA(19)=0.0007778849
VQ1(20)=	3.0000000000000000	NVA(20)=	166	9	NVT=	2413	PQA(20)=0.0005335905
VQ1(24)=	2.5000000000000000	NVA(24)=	322	10	NVT=	2741	PQA(24)=0.0010350370
VQ1(26)=	2.3333332538604736	NVA(26)=	259	11	NVT=	3001	PQA(26)=0.0008325297
VQ2(1)=	2.0000000000000000	NVA(81)=	128	12	NVT=	3444	PQA(81)=0.0004114433
VQ2(36)=	1.7500000000000000	NVA(116)=	485	13	NVT=	4123	PQA(116)=0.0015589843
VQ2(86)=	1.5000000000000000	NVA(166)=	1039	14	NVT=	5555	PQA(166)=0.0033197621
VQ2(250)=	1.2500000000000000	NVA(181)=	819	15	NVT=	6573	PQA(320)=0.0026325940
VQ2(421)=	1.20000000476837158	NVA(501)=	462	16	NVT=	7345	PQA(501)=0.0014850530
VQ2(823)=	1.1208791732788066	NVA(903)=	135	17	NVT=	8542	PQA(903)=0.0004334441
VQ2(864)=	1.1147540807723999	NVA(944)=	141	18	NVT=	8787	PQA(944)=0.0004532305
VQ2(906)=	1.1066956262588501	NVA(966)=	161	19	NVT=	9060	PQA(986)=0.0005175185
VQ2(947)=	1.1027027368545532	NVA(1027)=	145	20	NVT=	9327	PQA(1027)=0.0004660881
VQ2(988)=	1.0967742204666138	NVA(1068)=	177	21	NVT=	9630	PQA(1068)=0.0005689489
VQ2(1031)=	1.0909091234207153	NVA(1111)=	161	22	NVT=	9920	PQA(1111)=0.0005175185
VQ2(1781)=	1.0000000000000000	NVA(1861)=	5246	23	NVT=	17698	PQA(1861)=0.016827445
VQ3(528)=	0.9166666865348816	NVA(2789)=	114	24	NVT=	24063	PQA(2789)=0.0003664417
VQ3(1033)=	0.9090909361839294	NVA(2834)=	138	25	NVT=	25351	PQA(2894)=0.0004435873
VQ3(1161)=	0.8999999761581421	NVA(3022)=	200	26	NVT=	27329	PQA(3022)=0.0006428801
VQ3(1235)=	0.8947368264198303	NVA(3096)=	159	27	NVT=	28774	PQA(3066)=0.0008110897
VQ3(1326)=	0.8888888955116272	NVA(3187)=	324	28	NVT=	30772	PQA(3187)=0.0010414658
VQ3(1386)=	0.8846153616905212	NVA(3247)=	119	29	NVT=	32418	PQA(3247)=0.0003325137
VQ3(1401)=	0.8837203343910217	NVA(3262)=	113	30	NVT=	32795	PQA(3262)=0.0003632273
VQ3(1421)=	0.8823529491887817	NVA(3282)=	189	31	NVT=	33424	PQA(3282)=0.0006075217
VQ3(1442)=	0.8809523582458496	NVA(3303)=	108	32	NVT=	34060	PQA(3303)=0.0003471553
VQ3(1457)=	0.8799999952316284	NVA(3318)=	202	33	NVT=	34614	PQA(3318)=0.0006493089
VQ3(1476)=	0.8787878751754761	NVA(3337)=	203	34	NVT=	35234	PQA(3337)=0.0006325232
VQ3(1496)=	0.8775510191917419	NVA(3357)=	139	35	NVT=	35978	PQA(3357)=0.0004468017
VQ3(1536)=	0.8750000000000000	NVA(3397)=	571	36	NVT=	37634	PQA(3397)=0.0018354227
VQ3(1562)=	0.8732394576072693	NVA(3413)=	101	37	NVT=	38540	PQA(3423)=0.0003246545
VQ3(1570)=	0.8727272748947144	NVA(3431)=	104	38	NVT=	38873	PQA(3431)=0.0003342977
VQ3(1577)=	0.8723404407501221	NVA(3438)=	106	39	NVT=	39138	PQA(3438)=0.0003407265
VQ3(1586)=	0.8717948794364929	NVA(3447)=	120	40	NVT=	39444	PQA(3447)=0.0003057281
VQ3(1599)=	0.8709677457809448	NVA(3460)=	189	41	NVT=	40056	PQA(3460)=0.0006075217
VQ3(1605)=	0.8705882430076599	NVA(3466)=	102	42	NVT=	40288	PQA(3466)=0.0003786889
VQ3(1609)=	0.8703703880310059	NVA(3470)=	110	43	NVT=	40440	PQA(3470)=0.0003335841
VQ3(1614)=	0.8700000047683716	NVA(3475)=	104	44	NVT=	40709	PQA(3475)=0.0003342977
VQ3(1621)=	0.8695651888847351	NVA(3482)=	253	45	NVT=	41119	PQA(3482)=0.0008132433
VQ3(1628)=	0.8690476417541504	NVA(3489)=	113	46	NVT=	41406	PQA(3489)=0.0003632273
VQ3(1634)=	0.8686868548393250	NVA(3495)=	149	47	NVT=	41734	PQA(3495)=0.0004300161
VQ3(1639)=	0.8684210777282715	NVA(3500)=	184	48	NVT=	41994	PQA(3500)=0.000514497
VQ3(1644)=	0.8681318759918213	NVA(3505)=	104	49	NVT=	42197	PQA(3505)=0.0003342977
VQ3(1648)=	0.8679243114326477	NVA(3509)=	110	50	NVT=	42349	PQA(3509)=0.0003335841
VQ3(1656)=	0.8674699068069458	NVA(3517)=	123	51	NVT=	42665	PQA(3519)=0.0003353713
VQ3(1658)=	0.8673469424247742	NVA(3519)=	148	52	NVT=	42938	PQA(3519)=0.000437026
VQ3(1663)=	0.8666666746139526	NVA(3523)=	521	53	NVT=	43646	PQA(3529)=0.0016167026
VQ3(1678)=	0.8659793734550476	NVA(3539)=	149	54	NVT=	44021	PQA(3539)=0.0004300161
VQ3(1680)=	0.8658536672592163	NVA(3541)=	104	55	NVT=	44153	PQA(3541)=0.0003342977
VQ3(1687)=	0.8653846383094788	NVA(3548)=	111	56	NVT=	44476	PQA(3548)=0.0003557965
VQ3(1692)=	0.8651685118675232	NVA(3553)=	104	57	NVT=	44625	PQA(3553)=0.0003342977
VQ3(1696)=	0.8648646898070374	NVA(3557)=	201	58	NVT=	44932	PQA(3557)=0.0006460945

Fig. III.13 - Página de arquivo de dados com informações do sinal quociente

Fazendo-se um estudo minucioso do sinal quociente, de sua estatística e comportamento, através desse arquivo, foram escolhidos criteriosamente 70 níveis, definidos como níveis de saída do

quantizador. Os critérios empregados serão melhor explicados nos itens seguintes, pelo fato de o arquivo de dados ser muito grande, o que torna impossível a sua apresentação. Na implementação dos dois principais quantizadores, a PDF do sinal quociente foi traçada em forma de histograma. Os histogramas serão mostrados para análise estatística do sinal.

Na Tab. III.1, a seguir, são mostrados os níveis de saída do 1º quantizador, que passa a ser chamado de QUANT1. Os níveis de saída estão em ordem decrescente.

Tab. III.1 - Níveis de saída do QUANT1

Limiar de decisão	Valor do nível para o sinal quociente	Limiar de decisão	Valor do nível para o sinal quociente
OL1	15.0000000	OL36	1.0000000
OL2	2.0000000	OL37	0.9900000
OL3	1.5000000	OL38	0.9855072
OL4	1.2500000	OL39	0.9848485
OL5	1.2000000	OL40	0.9800786
OL6	1.2500000	OL41	0.9753087
OL7	1.1050000	OL42	0.9705882
OL8	1.1000000	OL43	0.9701493
OL9	1.0800000	OL44	0.9696970
OL10	1.0770000	OL45	0.9687500
OL11	1.0741000	OL46	0.9666666
OL12	1.0714300	OL47	0.9615380
OL13	1.0701801	OL48	0.9562170
OL14	1.0689700	OL49	0.9545450
OL15	1.0666670	OL50	0.9531250
OL16	1.0634919	OL51	0.9523810
OL17	1.0625000	OL52	0.9499999
OL18	1.0606060	OL53	0.9444444
OL19	1.0588236	OL54	0.9393939
OL20	1.0555555	OL55	0.9375000
OL21	1.0526316	OL56	0.9333333
OL22	1.0476191	OL57	0.9285714
OL23	1.0403406	OL58	0.9230769
OL24	1.0344827	OL59	0.9166666
OL25	1.0322580	OL60	0.9090909
OL26	1.0312500	OL61	0.9080000
OL27	1.0307692	OL62	0.8888889
OL28	1.0303030	OL63	0.8750000
OL29	1.0298507	OL64	0.8500000
OL30	1.0294118	OL65	0.8000000
OL31	1.0256411	OL66	0.7500000
OL32	1.0172414	OL67	0.7000000
OL33	1.0149254	OL68	0.6000000
OL34	1.0125000	OL69	0.5000000
OL35	1.0070000	OL70	0.0000000

Na Tab. III.2 são mostrados os limiares de decisão do

QUANT1, que também estão em ordem decrescente.

Tab. III.2 - Limiars de decisão do QUANT1

Limiar de decisão	Valor do limiar de decisão	Limiar de decisão	Valor do limiar de decisão
DL1	8.0	DL36	0.995
DL2	1.75	DL37	0.9877536
DL3	1.25	DL38	0.985177845
DL4	1.225	DL39	0.98246353
DL5	1.1625	DL40	0.97769361
DL6	1.115	DL41	0.972948425
DL7	1.1025	DL42	0.970368735
DL8	1.09	DL43	0.96992313
DL9	1.0785	DL44	0.969223495
DL10	1.07555	DL45	0.9677083
DL11	1.072765	DL46	0.9641023
DL12	1.070805	DL47	0.9588775
DL13	1.069575	DL48	0.955381
DL14	1.0678185	DL49	0.953835
DL15	1.0650795	DL50	0.952753
DL16	1.062996	DL51	0.95119045
DL17	1.061553	DL52	0.94722215
DL18	1.05971479	DL53	0.941919165
DL19	1.05689565	DL54	0.938446965
DL20	1.054093555	DL55	0.9354166559
DL21	1.050125355	DL56	0.9309523599
DL22	1.044079835	DL57	0.925824164
DL23	1.037511644	DL58	0.919871764
DL24	1.033370359	DL59	0.912878765
DL25	1.031754	DL60	0.908545465
DL26	1.031009614	DL61	0.898444435
DL27	1.030536114	DL62	0.881944435
DL28	1.03007685	DL63	0.8625
DL29	1.029631245	DL64	0.825
DL30	1.027526435	DL65	0.775
DL31	1.021441215	DL66	0.725
DL32	1.0160833355	DL67	0.65
DL33	1.01371268	DL68	0.6
DL34	1.00975	DL69	0.25
DL35	1.0035		

Observando-se atentamente, nota-se que DL1 é o limiar entre OL1 e OL2; DL2 entre OL2 e OL3, e assim por diante, chega-se em DL69, que é o limiar de decisão entre os níveis OL69 e OL70. Deve ser

observado ,neste, instante um detalhe importantíssimo, que é o erro de quantização. Esse é extremamente pequeno, principalmente nos intervalos do sinal quociente de maior interesse para a quantização. Os níveis de saída, nesses intervalos, são muito próximos uns dos outros, sendo quase que indistinguíveis. Em alguns casos distinguem-se somente a partir da quarta casa de precisão. Colocando-se os limiares de decisão entre eles, o erro de quantização torna-se quase desprezível e infinitamente menor que no sistema DPCM. Essa característica é a principal vantagem do sistema QPCM. É ela que torna o ruído final, que é mostrado na Eq. (2.8) e Eq. (2.13), imperceptível ao olho humano, e garante bom desempenho para o sistema.

Nota-se pela Tab. III.1 que nos intervalos entre "0" e "0,5" e "2" e "255", existem apenas 4 níveis de saída para o QUANT1, isso devido à pequena porcentagem do quadro que se encontra nesses intervalos do sinal quociente, tanto para o preditor 1 como para o 2, (ver Fig. III.4 e Fig. III.7). Nos intervalos entre "0,5" e "0,9" e entre "1,1" e "2" existem 12 níveis de saída. Essa é uma região de importância um pouco maior para a quantização, por isso apresenta número maior de níveis de saída. Fica bem claro que a região mais importante está entre "0,9" e "1,1". Nesse intervalo, encontra-se a maior parte dos pixels do quadro. Por esse motivo tem-se nessa área 54 níveis de saída para o quantizador.

O QUANT1 não é um quantizador ótimo, obviamente, por ter sido a primeira experiência de quantização específica para o sistema QPCM. Ainda assim, esse sistema apresentou um desempenho considerado satisfatório. A relação sinal-ruído final (ver item II.3.2.1), com o preditor 1, é de 35,5 dB. A entropia do sinal de saída do quantizador

, que é o sinal de saída do sistema, é de 5,756 bits/amostra. Isso dá uma taxa de bits na linha de 54,8829 Mbits/s, o que é alta e distante dos 34 Mbits/s que se quer atingir.

Na Tab. III.3 são apresentadas as frequências de ocorrência dos níveis de saída do QUANT1, para o preditor 1. Todos os parâmetros e dados apresentados para esse quantizador são para simulação com a imagem 15 (cozinha).

Tab. III.3 - Frequência de ocorrência dos níveis de saída do QUANT1
para o preditor 1

Nível de saída	Frequência de ocorrência [%]	Nível de saída	Frequência de ocorrência [%]
OL1	0.24	OL36	10.61
OL2	1.47	OL37	2.34
OL3	2.56	OL38	2.41
OL4	1.68	OL39	3.09
OL5	1.4	OL40	1.41
OL6	2.12	OL41	2.03
OL7	1.13	OL42	1.76
OL8	1.55	OL43	0.48
OL9	2.07	OL44	0.76
OL10	0.65	OL45	1.22
OL11	0.65	OL46	0.89
OL12	0.46	OL47	2.14
OL13	0.38	OL48	1.53
OL14	0.51	OL49	0.90
OL15	0.97	OL50	0.50
OL16	0.91	OL51	0.67
OL17	0.54	OL52	1.84
OL18	0.50	OL53	1.60
OL19	1.01	OL54	0.95
OL20	0.91	OL55	0.85
OL21	2.11	OL56	1.01
OL22	3.66	OL57	1.04
OL23	2.52	OL58	0.98
OL24	1.90	OL59	1.03
OL25	1.05	OL60	0.46
OL26	0.80	OL61	0.92
OL27	0.47	OL62	1.04
OL28	0.61	OL63	0.88
OL29	0.70	OL64	1.16
OL30	1.08	OL65	1.12
OL31	2.26	OL66	0.89
OL32	2.20	OL67	0.6
OL33	2.91	OL68	0.57
OL34	1.76	OL69	0.92
OL35	1.50	OL70	1.11

Pela Tab. III.3, pode-se perceber que a entropia do sinal quociente quantizado é alta por ele estar muito espalhado por todos os níveis de saída.

O melhor desempenho do sistema, com o QUANT1, foi conseguido em conjunto com o preditor 2. A relação sinal-ruído não foi muito maior, sendo de 36,2 dB apenas 0,7 dB melhor que com o preditor 1. Porém, a entropia de saída do sistema, nesse caso, é de 2,9746 bits/amostra, o que resulta em uma taxa de bits na linha de 28,3630 Mbits/s. Esse resultado é excelente, pois está cerca de 4 Mb/s abaixo da taxa pretendida. Na Tab. III.4, vê-se a frequência de ocorrência dos níveis de saída para esse caso.

Tab. III.4 - Frequências de ocorrência dos níveis de saída do QUANT1
com o preditor 2

Nível de saída	Frequência de ocorrência [%]	Nível de saída	Frequência de ocorrência [%]
OL1	0.24	OL36	1.69
OL2	1.08	OL37	0.12
OL3	0.52	OL38	0.04
OL4	0.29	OL39	0.04
OL5	0.34	OL40	0.08
OL6	0.30	OL41	0.09
OL7	0.22	OL42	0.04
OL8	0.19	OL43	0.01
OL9	0.12	OL44	0.02
OL10	0.03	OL45	1.03
OL11	0.02	OL46	0.07
OL12	0.02	OL47	0.11
OL13	0.01	OL48	0.08
OL14	0.01	OL49	0.04
OL15	0.02	OL50	0.02
OL16	0.01	OL51	0.03
OL17	0.01	OL52	0.10
OL18	0.02	OL53	0.14
OL19	0.02	OL54	0.11
OL20	0.02	OL55	0.10
OL21	0.03	OL56	0.16
OL22	0.06	OL57	0.20
OL23	0.05	OL58	0.24
OL24	0.03	OL59	0.36
OL25	0.02	OL60	0.24
OL26	~ 0	OL61	0.73
OL27	~ 0	OL62	1.89
OL28	0.01	OL63	4.31
OL29	~ 0	OL64	18.31
OL30	0.02	OL65	36.29
OL31	0.06	OL66	20.25
OL32	0.07	OL67	5.54
OL33	0.02	OL68	1.16
OL34	0.05	OL69	2.07
OL35	0.08	OL70	1.30

Pode-se notar a razão da baixa taxa de bits na saída do sistema, pois existe uma concentração muito grande de pixels no nível "0,8" (DL65) e nos níveis vizinhos a ele. Na avaliação subjetiva foi considerado muito bom o desempenho do sistema com ambos os preditores, pois não foi notada nenhuma degradação na imagem por nenhum dos observadores. Porém, a relação sinal-ruído ainda era considerada baixa e partiu-se, então, para a melhoria da quantização. Chegou-se a dois quantizadores ótimos que serão chamados de QUANT04 e QUANT15. Cada um deles será mostrado detalhadamente nos itens III.2.2 e III.2.3, respectivamente.

Na tentativa de se melhorar o desempenho foi implementado um quantizador baseado no resultado da Tab. III.4. Foram eliminados os níveis que tinham frequência de ocorrência 0 (zero), ou muito próximas disto. Como a concentração ao redor de "0,8" era muito elevada nesse caso, passou-se a ter maior interesse na quantização deste intervalo. A taxa de bits estava abaixo do pretendido, o que permitia a inclusão de alguns níveis nesse intervalo. Isso na tentativa de se melhorar a relação sinal-ruído. Chegou-se, então, a um quantizador de 21 níveis de saída. Na Tab. III.5 são mostrados os níveis de saída desse quantizador, em ordem decrescente, e suas respectivas frequências de ocorrência.

Tab. III.5 - Níveis de saída e respectivas frequências de ocorrência do quantizador de 21 níveis com $N_1=0,8$

Nível de saída	Frequência de ocorrência [%]	Valor do nível para o sinal quociente
OL1	0.20	15.0
OL2	1.04	3.0
OL3	5.87	1.0
OL4	4.80	0.90
OL5	7.20	0.857143
OL6	5.70	0.846154
OL7	7.59	0.833333
OL8	4.57	0.822400
OL9	5.13	0.816
OL10	4.36	0.809524
OL11	11.30	0.800
OL12	6.59	0.788235
OL13	6.83	0.777778
OL14	4.25	0.769231
OL15	2.72	0.764710
OL16	0.17	0.7600
OL17	10.03	0.7500
OL18	2.46	0.725
OL19	5.97	0.700
OL20	1.75	0.50
OL21	1.45	0.0

Nota-se, na Tab. III.5, que os níveis de saída estão quase somente no intervalo de maior interesse entre "0,7" e "0,9". Na Tab. III.6, abaixo, estão os limiares de decisão.

Tab. III.6 - Limiares de decisão do quantizador de 21 níveis

Limiar de decisão	Valor do limiar para o sinal quociente
DL1	8.0
DL2	1.75
DL3	0.925
DL4	0.875
DL5	0.8506
DL6	0.840
DL7	0.828
DL8	0.821
DL9	0.8125
DL10	0.80635
DL11	0.794
DL12	0.784
DL13	0.774
DL14	0.7675
DL15	0.7625
DL16	0.757
DL17	0.735
DL18	0.72
DL19	0.6
DL20	0.25

O desempenho do sistema com esse quantizador e o preditor 2, que concentra o sinal quociente ao redor do nível (valor) "0,8", não foi satisfatório. Apesar de o quantizador ter apenas 21 níveis de saída, a entropia da saída aumentou para 4,0759 bits/amostra, ficando

a taxa de bits na linha em 38,8637 Mbits/s. A relação sinal-ruído obtida foi de 28,62 dB. Esses parâmetros foram conseguidos em simulação com a imagem 15. Não foi feita a avaliação subjetiva devido às dificuldades operacionais encontradas na UNICAMP para isso, e o fato de a avaliação objetiva não ter sido satisfatória.

A implementação desse quantizador de 21 níveis de saída foi um degrau importante na melhoria e estudo da quantização, mesmo tendo esse, não apresentado resultado satisfatório. Observou-se que mesmo um nível de saída que apresenta uma frequência de ocorrência extremamente baixa, em alguns casos não pode ser eliminado, pois interfere em alto grau na avaliação final do sistema. Outra conclusão foi que intervalos do sinal quociente de diminuta importância não podem ser desprezados na quantização. Outro ponto importante foi a entropia do sinal quantizado, que diz respeito à taxa de bits na linha. Apesar de o quantizador ter apenas 21 níveis de saída, menos de 1/3 do QUANT1, a taxa de bits na saída foi muito maior, cerca de 37%. Chega-se à conclusão que tem que se ter um quantizador com níveis de saída em todo o intervalo de variação do sinal quociente, porém, em maior concentração nos principais intervalos. Alguns níveis de saída devem apresentar frequência de ocorrência alta para que se consiga alcançar a taxa desejada.

Com o conhecimento adquirido, passou-se para a fase de melhoria do sistema. Foi então implementado um software, utilizando-se o pacote estatístico SAS para se traçar as PDFs do sinal quociente, em forma de histogramas. Foram traçadas as PDFs para os preditores 1 e 2 com as imagens 2, 4 e 15 da SMPTE. As PDFs das três imagens apresentaram um formato semelhante quando utilizando o mesmo preditor. Do estudo dessas PDFs, chegou-se a dois

quantizadores melhorados para o sistema QPCM, que são o QUANT4 e o QUANT15. Nos dois itens que se seguem, eles serão vistos detalhadamente, com a apresentação das PDFs.

III.2.2. - O QUANT04

Esse quantizador recebeu o nome QUANT04, pelo fato de esse ter sido implementado, utilizando-se a PDF, traçada com os dados da imagem 4. Ele foi aperfeiçoado para o preditor 1, ou seja, a PDF foi traçada com o sistema utilizando esse preditor. O nível central da quantização, ou seja, "N1" (ver Fig. III.11 e Fig. III.13), será igual a "1". Esse fato deve-se à PDF, que tem seu pico nesse valor. Na Fig. III.14, abaixo, é mostrada a PDF do sinal quociente antes da quantização.

PDF DO SINAL QNA

NX=04 A=0.5 B=0.25 C=0.25
SINAL NA SAIDA DO DIVISOR

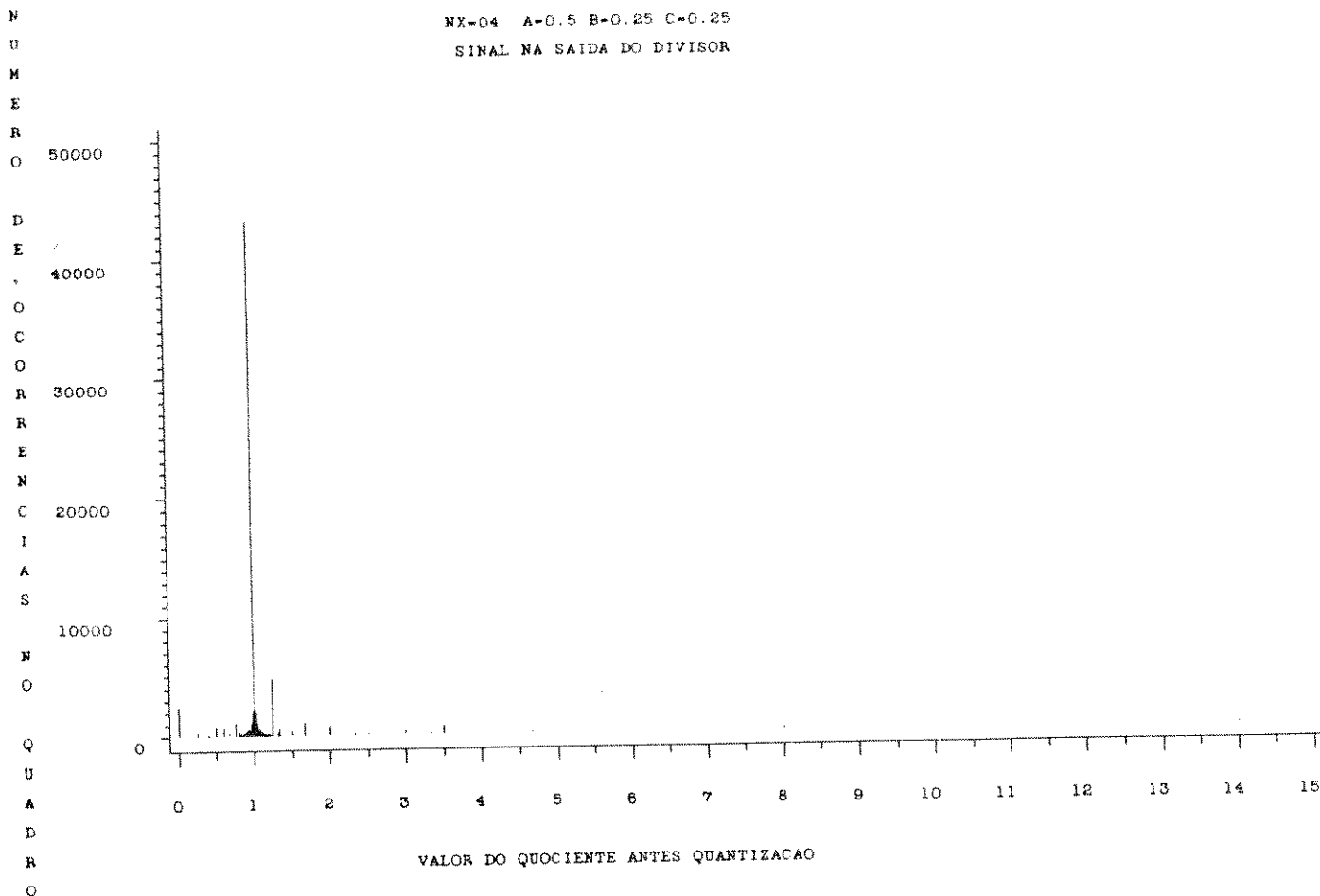


Fig. III.14 - Histograma da PDF do sinal quociente entre 0 e 15

A variação desse sinal nas simulações práticas desse caso está restrita entre 0 (zero) e "15", por isso, a PDF só é mostrada nesse intervalo. Na Fig. III.14, o eixo das abcissas representa o sinal quociente. No eixo das ordenadas, encontra-se o número de ocorrências de cada quociente, no quadro. Isto é, o número de pixels do quadro que apresenta aquele quociente. A frequência de ocorrência

de cada quociente pode ser obtida dividindo-se o número de ocorrências pelo número total de pixels do quadro¹.

Em torno do valor 1, a PDF parece ser contínua devido à grande concentração de pontos. Na Fig. III.4 vê-se que apenas o valor "1" aparece em mais de 40.000 pontos do quadro. Esse quociente, obviamente, deverá ser um nível de saída do quantizador. Como existem muitos pontos entre 0 (zero) e "2", esse é o principal intervalo para a quantização, e deve ser detalhado. Na Fig. III.15 pode-se ver esse detalhamento.

$$^1 \quad f_{\text{ocorrência}} = \frac{NVA(X)}{NP}$$

PDF DO SINAL QNA

NX=04 A=0.5 B=0.25 C=0.25

SINAL NA SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O
D
E
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S
N
O
Q
U
A
D
R
O

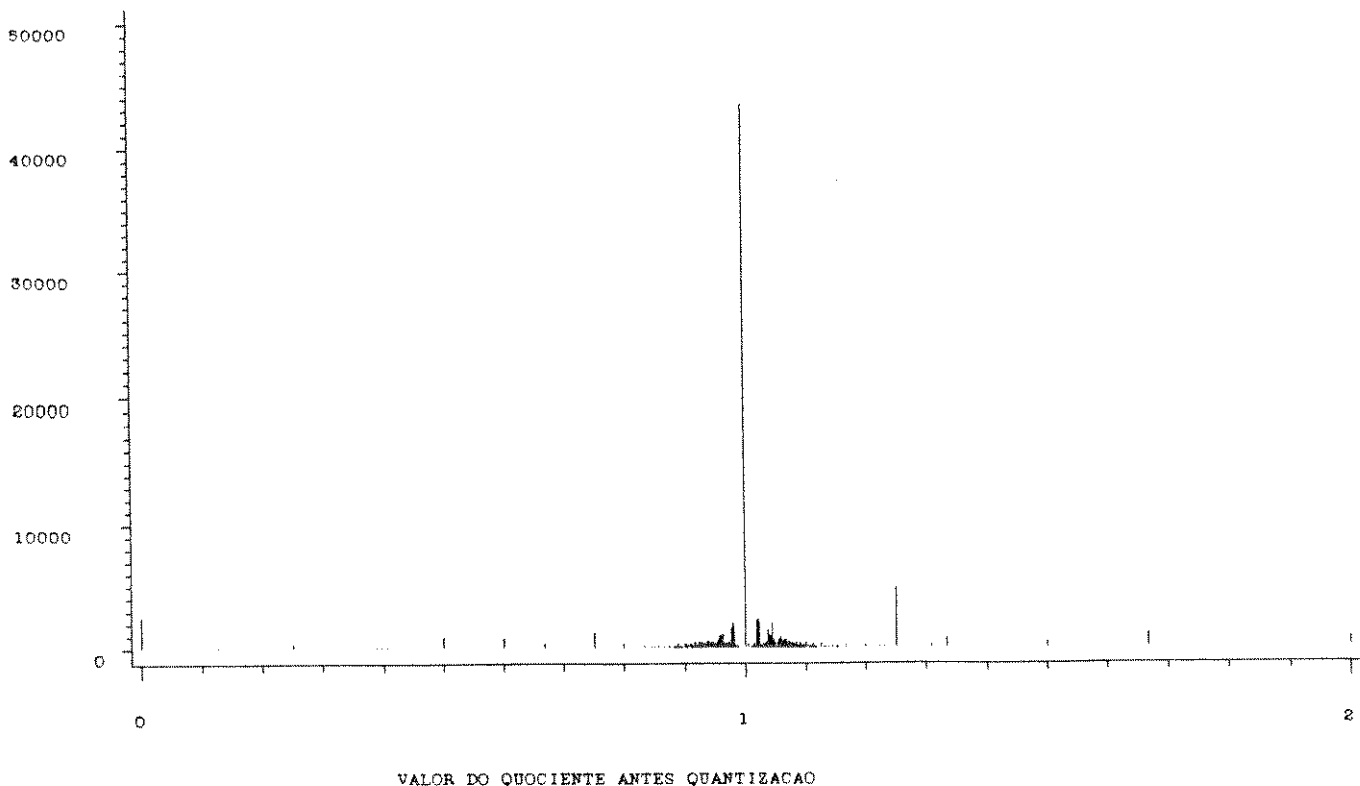


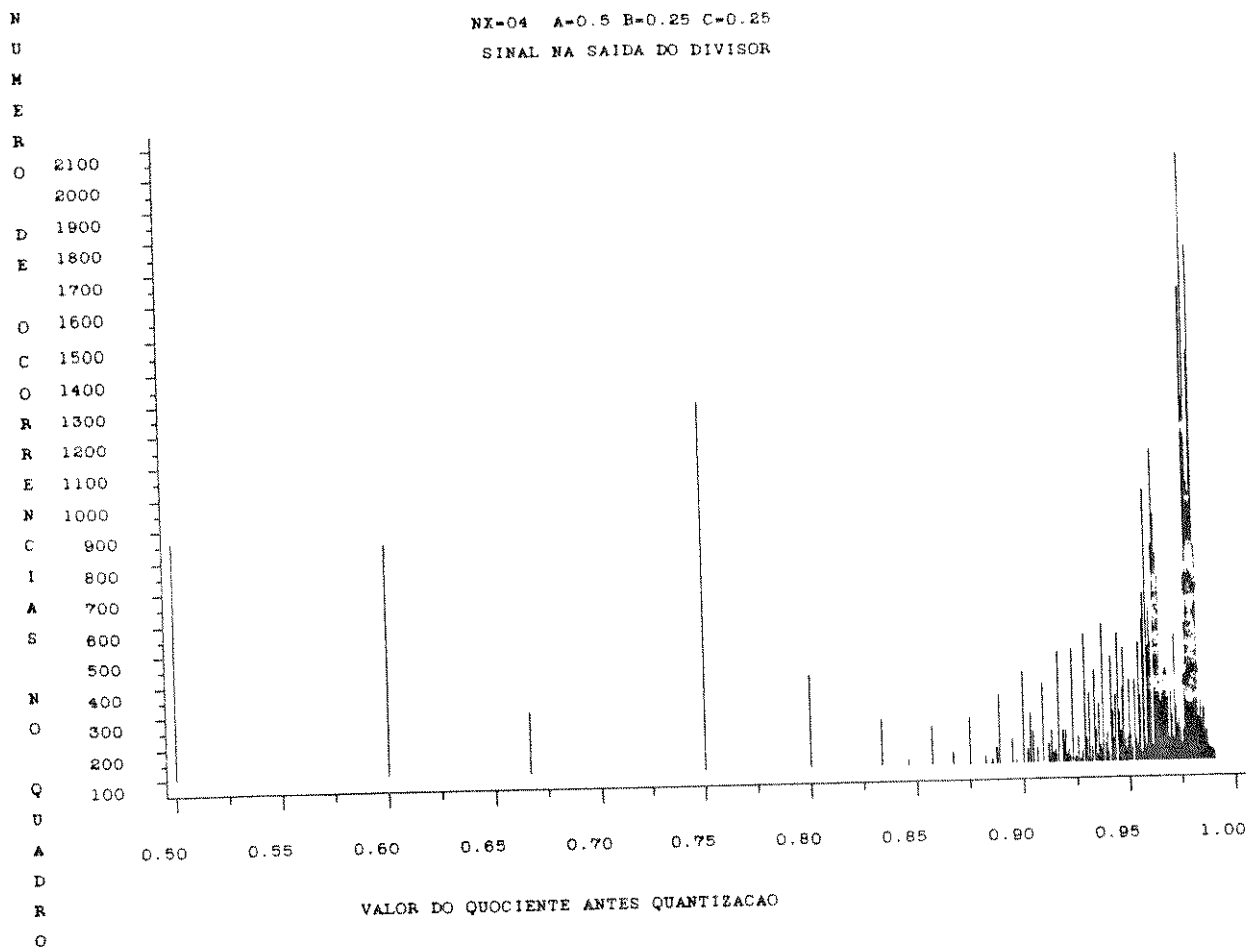
Fig. III.15 - PDF entre 0 (zero) e "2" com o preditor 1.

Como se pode notar, a frequência de ocorrência de "1" é muito maior que as outras, o que as torna pequenas no histograma. Necessita-se detalhar ainda mais a PDF pois é impossível escolher-se os níveis de saída através da Fig. III.15.

Na Fig. III.16 é mostrada a PDF entre "0,5" e "1,0" na

letra (a), entre "1" e "1,5" é mostrada a letra (b). Pode-se notar que a frequência de ocorrência do quociente 1 foi eliminada, devido a sua magnitude, para que se possa observar melhor a dos outros quocientes.

PDF DO SINAL QNA



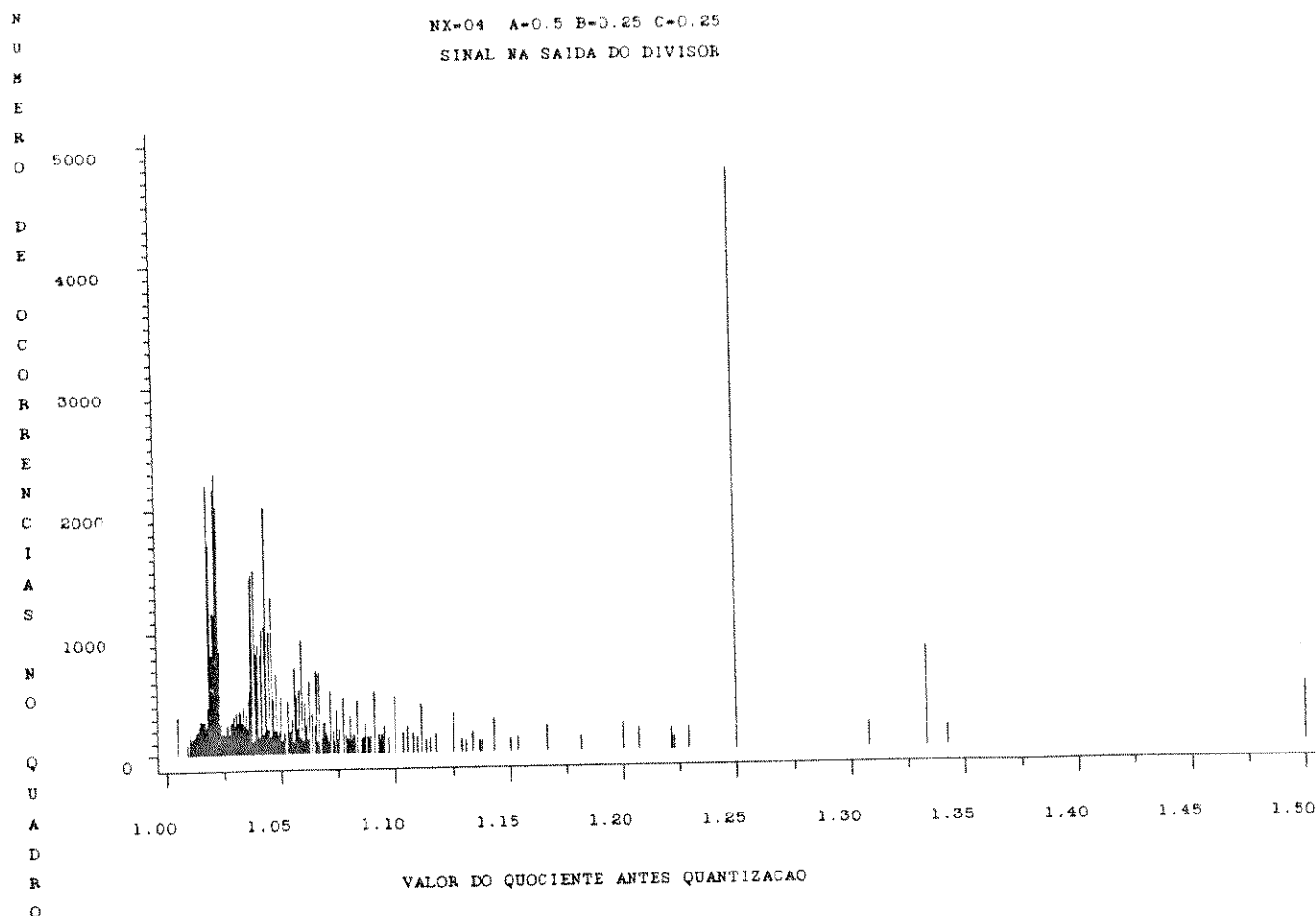
(a)

Fig. III.16 - PDF do sinal quociente excluindo-se a frequência de ocorrência de 1, entre:

a) 0,5 e 1 b) 1 e 1,5

PDF DO SINAL QNA

NX=04 A=0.5 B=0.25 C=0.25
SINAL NA SAIDA DO DIVISOR



(b)

Fig. III.16 - PDF do sinal quociente excluindo-se a frequência de ocorrência de 1, entre:

a) 0,5 e 1 b) 1 e 1,5

O que importa aqui, é a concentração de probabilidade que se tem em determinada região, para que se determine para ela o número de níveis de saída do quantizador e quais serão esses níveis. Assim, usando-se o background adquirido nas simulações anteriores e a filosofia descrita acima, foi-se detalhando mais e mais a PDF, e

escolhendo-se os níveis de saída. Não serão mostrados todos os histogramas detalhados da PDF pelo fato de serem muitos, e isso estenderia demasiadamente este item. Contudo, no apêndice B é mostrada a sequência completa de histogramas com a PDF usada na implementação do QUANT15.

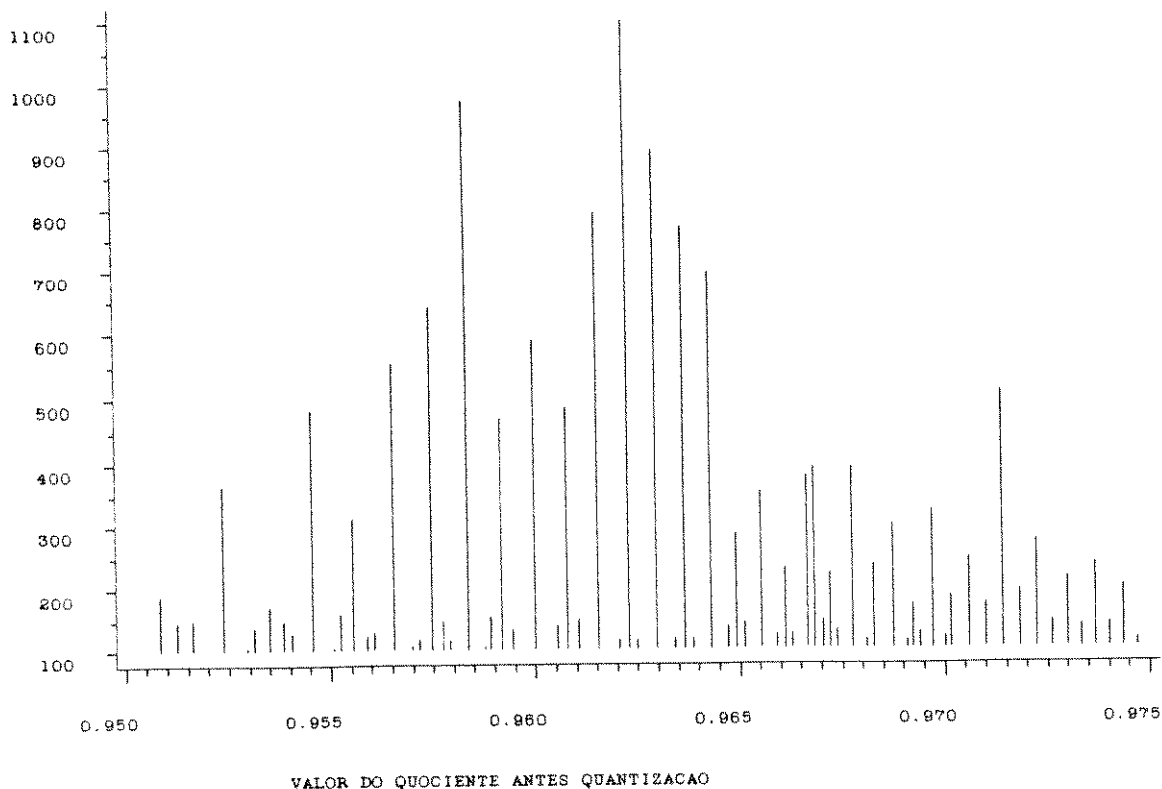
Foram detalhados separadamente os intervalos entre "0,5" e "1" e entre "1" e "1,5". Na Fig. III.17 mostra-se dois histogramas dos sub-intervalos mais importantes, dentro desses intervalos. Na Fig. 17(a) vê-se o detalhamento entre "0,95" e "0,9749" e na Fig. III.17(b) entre "1.024" e "1.05".

PDF DO SINAL QNA

NX=04 A=0.5 B=0.25 C=0.25

SINAL NA SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O
D
E
C
O
R
R
E
C
T
I
O
N
E
S
Q
U
A
D
R
O



(a)

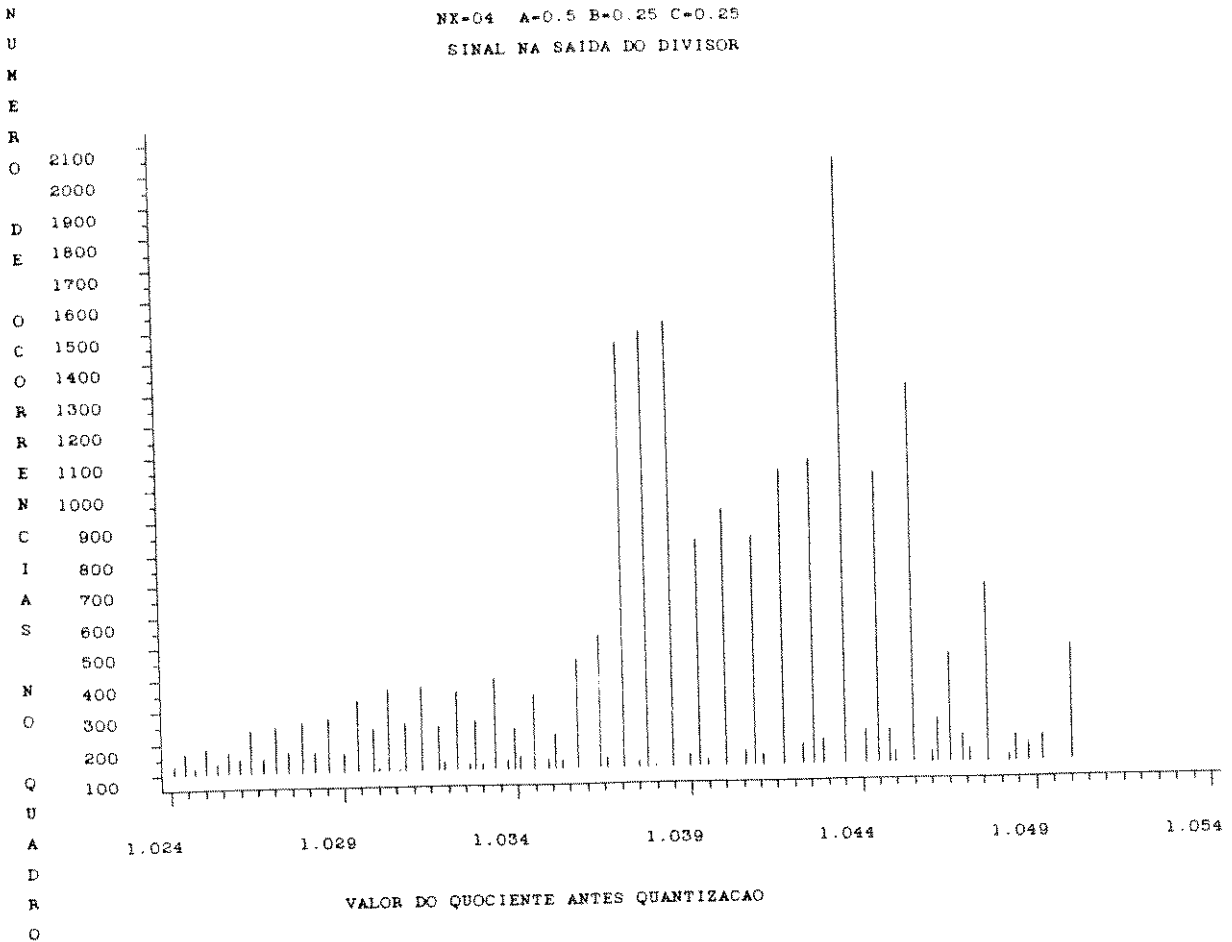
Fig. III.17 - PDF entre

(a) 0,95 e 0,9745

(b) 1,024 e 1,05

PDF DO SINAL QNA

NX-04 A=0.5 B=0.25 C=0.25
SINAL NA SAIDA DO DIVISOR



(b)

Fig. III.17 - PDF entre

(a) 0,95 e 0,9745

(b) 1,024 e 1,05

Foram traçadas entre 15 e 25 histogramas de uma só PDF para implementação de cada um dos quantizadores. Os dois quantizadores melhorados terão também 70 níveis de saída. Na Fig. III.18 é mostrada a quantidade de níveis do o QUANT04 nos diversos sub-intervalos do

sinal quociente, entre 0 (zero) e "15".

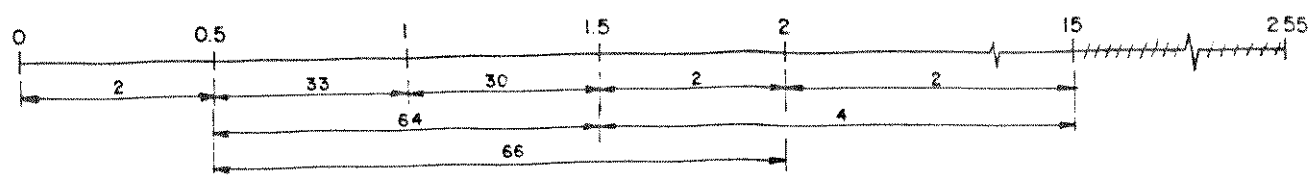


Fig. III.18 - Distribuição dos 70 níveis de saída do QUANT04 no intervalo entre 0 (zero) e 15.

Comparando-se a Fig. III.18 com a Fig. III.4, nota-se que a distribuição dos níveis de saída está diretamente ligada às características do sinal quociente. Na Tab. III.7 mostra-se o número de níveis de saída em alguns intervalos importantes do sinal quociente para a quantização.

Tab. III.7 - Número de níveis de saída do QUANT04 por intervalo de quantização

Intervalo de Quantização	Número de níveis de saída do intervalo
0.99 - 1.01	1
0.98 - 1.02	7 (4-2)
0.97 - 1.031	14 (8-5)
0.96 - 1.042	19 (11-7)
0.95 - 1.053	27 (14-12)
0.94 - 1.064	31 (15-15)
0.92 - 1.087	38 (18-19)
0.9 - 1.11	44 (21-22)
0.85 - 1.18	50 (24-25)
0.8 - 1.25	56 (27-28)
0.75 - 1.33	60 (30-29)
0.67 - 1.5	62 (31-30)
0.5 - 2	66 (33-32)
0 - 15	70 (35-34)

Os números entre parênteses representam o número de níveis do intervalo do lado esquerdo e direito de "1", respectivamente. Mais uma vez pode ser notada a relação entre a estatística do sinal quociente e a quantização pela comparação da Tab. III.7 e as Fig. III.5 e Fig. III.6.

Os limiares de decisão do quantizador foram escolhidos de maneira a proporcionar um erro de quantização menor no final. A posição do limiar entre dois níveis de saída depende também das características do sinal quociente. A relação entre limiar e nível

de saída depende do sub-intervalo em que eles se localizam. Na Tab. III.8 são mostrados os níveis de saída do QUANT04 e suas respectivas frequências de ocorrência.

Tab. III.8 - Níveis de saída do QUANT04 e suas frequências de ocorrência

Nível de saída	Valor do nível de saída	Freq. de ocor. do nível[%]	Nível de saída	Valor do nível de saída	Freq. de ocor. do nível[%]
OL1	15	.00064	OL36	0.988	1.24
OL2	4.5	0.6	OL37	0.984	1.23
OL3	2	0.87	OL38	0.9815	2.15
OL4	1.7	1.04	OL39	0.98	1.31
OL5	1.5	1.00	OL40	0.9787	1.22
OL5	1.35	1.28	OL41	0.9778	1.39
OL7	1.25	2.81	OL42	0.975	0.78
OL8	1.225	0.69	OL43	0.9714	1.01
OL9	1.2	0.99	OL44	0.967	1.09
OL10	1.165	1.19	OL45	0.9643	0.98
OL11	1.143	1.15	OL46	0.9623	1.35
OL12	1.125	1.29	OL47	0.9584	1.42
OL13	1.11	1.31	OL48	0.9546	1.12
OL14	1.1	1.21	OL49	0.95	1.08
OL15	1.091	1.26	OL50	0.9444	1.53
OL16	1.0834	1.23	OL51	0.9376	1.65
OL17	1.0769	1.22	OL52	0.9286	1.47
OL18	1.0714	1.02	OL53	0.923	1.02
OL19	1.0667	1.13	OL54	0.9168	1.13
OL20	1.0625	0.92	OL55	0.909	1.2
OL21	1.0588	1.12	OL56	0.9000	1.13
OL22	1.0556	0.92	OL57	0.89	0.96
OL23	1.0527	0.62	OL58	0.88	1.06
OL24	1.05	0.63	OL59	0.86	1.34
OL25	1.0476	0.63	OL60	0.832	0.97
OL26	1.04545	0.92	OL61	0.815	0.54
OL27	1.0435	1.74	OL62	0.8	0.44
OL28	1.04	1.51	OL63	0.79	0.37
OL29	1.03775	2.3	OL64	0.775	0.49
OL30	1.0303	2.3	OL65	0.75	1.06
OL31	1.02274	2.56	OL66	0.675	0.7
OL32	1.0212801	2.46	OL67	0.6	0.91
OL33	1.0185	3.2	OL68	0.5	0.75
OL34	1.015	2.0	OL69	0.25	0.67
OL35	1.0000	17.29	OL70	0.0	0.82

A seguir, na Tab. III.9, são mostrados os limiares de

Tab. III.9 - Limiares de decisão do QUANT04

Limiar de decisão	Valor do limiar	Limiar de decisão	Valor do limiar
DL1	7.0	DL36	0.9863
DL2	3.4	DL37	0.9829
DL3	1.86	DL38	0.9807
DL4	1.61	DL39	0.9794
DL5	1.43	DL40	0.9782
DL5	1.305	DL41	0.9766
DL7	1.239	DL42	0.9734
DL8	1.214	DL43	0.9695
DL9	1.184	DL44	0.9658
DL10	1.155	DL45	0.9634
DL11	1.1345	DL46	0.9605
DL12	1.118	DL47	0.9567
DL13	1.1055	DL48	0.9526
DL14	1.096	DL49	0.9474
DL15	1.0874	DL50	0.9414
DL16	1.0804	DL51	0.9334
DL17	1.0744	DL52	0.926
DL18	1.0692	DL53	0.9205
DL19	1.0647	DL54	0.9135
DL20	1.0608	DL55	0.905
DL21	1.0573	DL56	0.8955
DL22	1.0543	DL57	0.8855
DL23	1.0514	DL58	0.871
DL24	1.0489	DL59	0.847
DL25	1.0466	DL60	0.824
DL26	1.04455	DL61	0.808
DL27	1.0419	DL62	0.7955
DL28	1.039	DL63	0.783
DL29	1.0343	DL64	0.764
DL30	1.0268	DL65	0.715
DL31	1.02208	DL66	0.64
DL32	1.0201	DL67	0.555
DL33	1.0169	DL68	0.39
DL34	1.0128	DL69	0.14
DL35	0.99		

Como nos casos anteriores, DL1 é o limiar entre OL1 e OL2, e assim por diante.

III.2.3. - O QUANT15

Esse quantizador foi implementado utilizando-se a PDF da imagem 15. Por esse motivo é chamado QUANT15. O preditor usado pelo sistema foi o de número 2. Assim, o nível central de saída desse quantizador (N1) será "0,8". Esse nível é o que se encontra no ponto central da PDF. Na Fig. III.19, abaixo, é mostrada a PDF do sinal quociente em seu intervalo de variação, que vai de 0 até 15.

PDF DO SINAL QNA

NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR

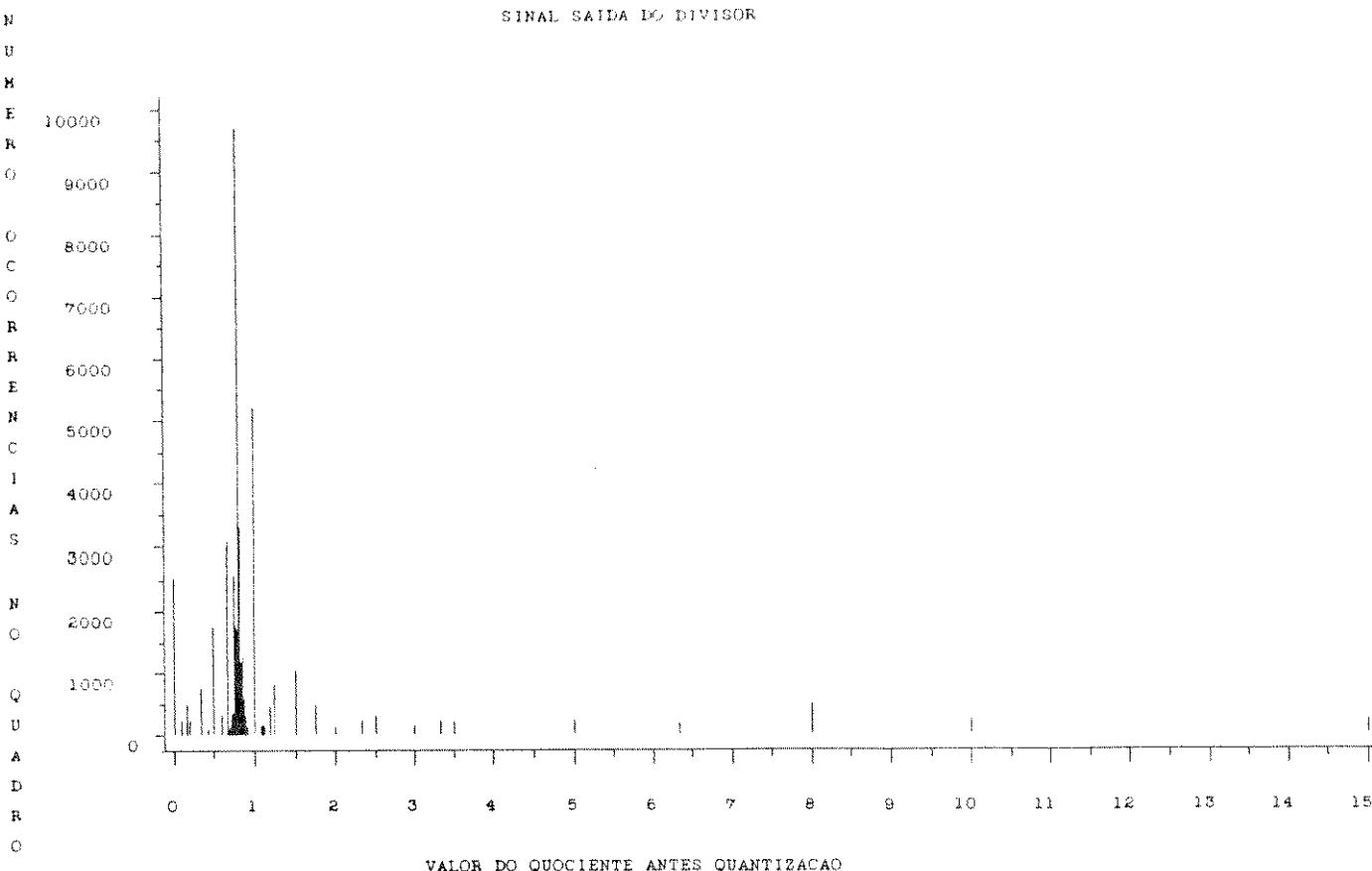


Fig. III.19 - PDF do sinal quociente para a imagem 15, com o sistema utilizando o preditor 2.

Nesse quantizador foi utilizado o mesmo procedimento do QUANT04. Em razão da quantidade muito alta de histogramas da PDF do sinal q, aqui também não se mostrará todos eles. Contudo, no apêndice B é mostrada a sequência completa de histogramas da PDF usada na implementação do QUANT15. Abaixo são mostrados alguns histogramas de intervalos importantes da quantização.

PDF DO SINAL QNA

NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR

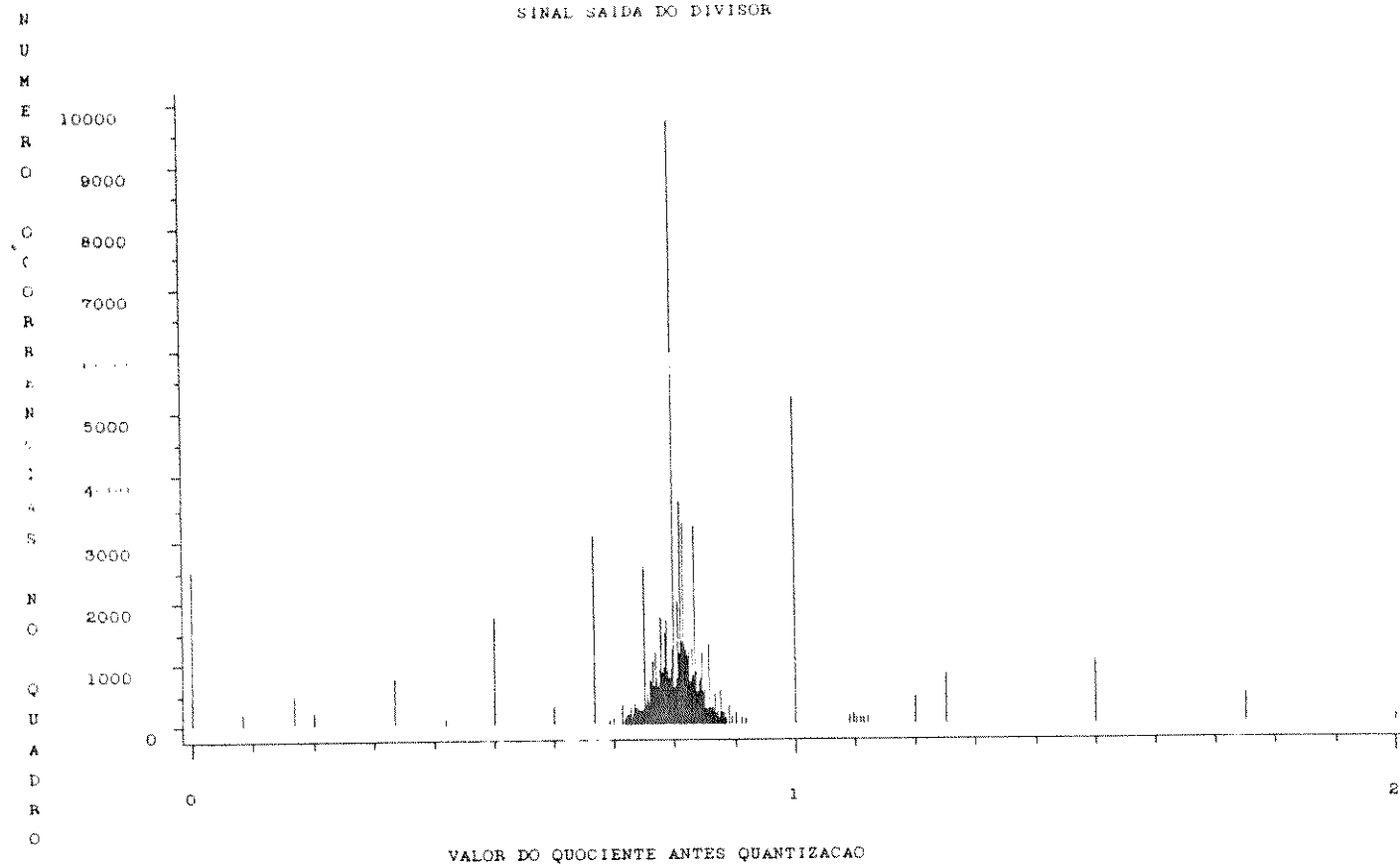


Fig. III.20 - PDF entre "0" e "2"

Na Fig. III.20 nota-se claramente que o intervalo principal para a quantização, nesse caso específico, está entre "0,7" e "0,9". Na Fig. III.21 abaixo é mostrada a PDF detalhada desse intervalo.

PDF DO SINAL QNA

NE=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR

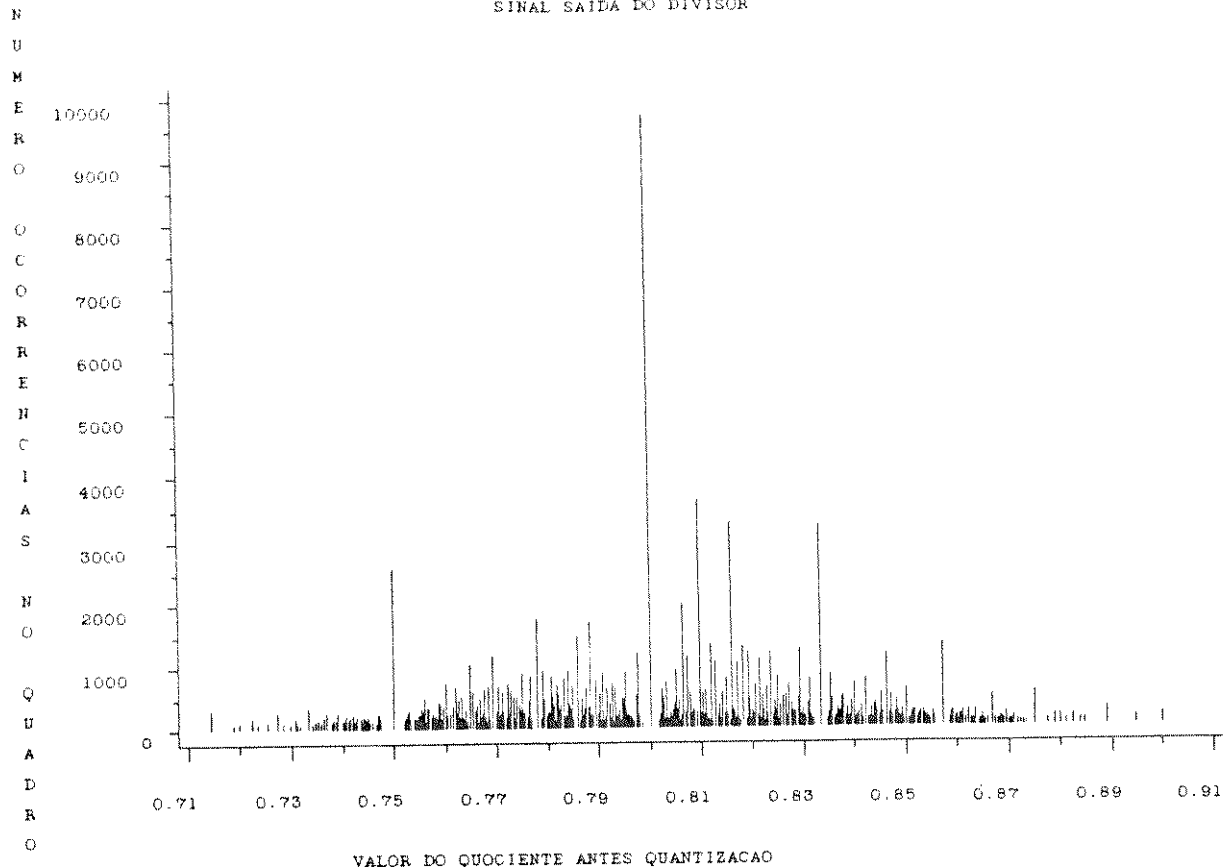


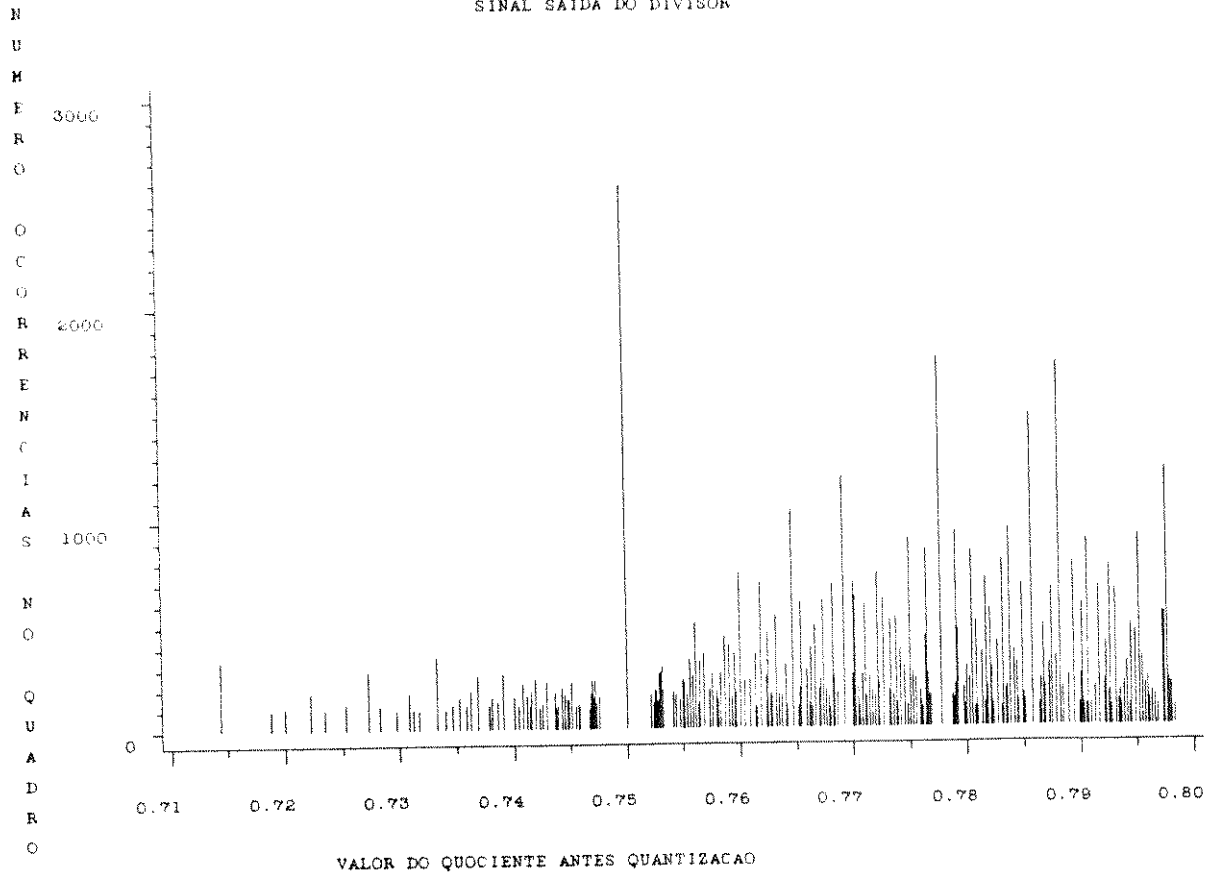
Fig. III.21 - PDF entre "0,7 e "0,9"

Abaixo, na Fig. III.22 (a) está a PDF entre 0,7 e 0,8, excluindo-se a ocorrência de 0,8. Na Fig. III.22 (b) é vista a PDF entre "0,8" e "0,9", também excluindo-se 0,8. Na Fig. III.23 (a) e (b) mostra-se o comportamento do sinal quociente em dois dos principais sub-intervalos de quantização.

PDF DO SINAL QNA

NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR



(a)

Fig. III.22 - PDF do sinal q entre:

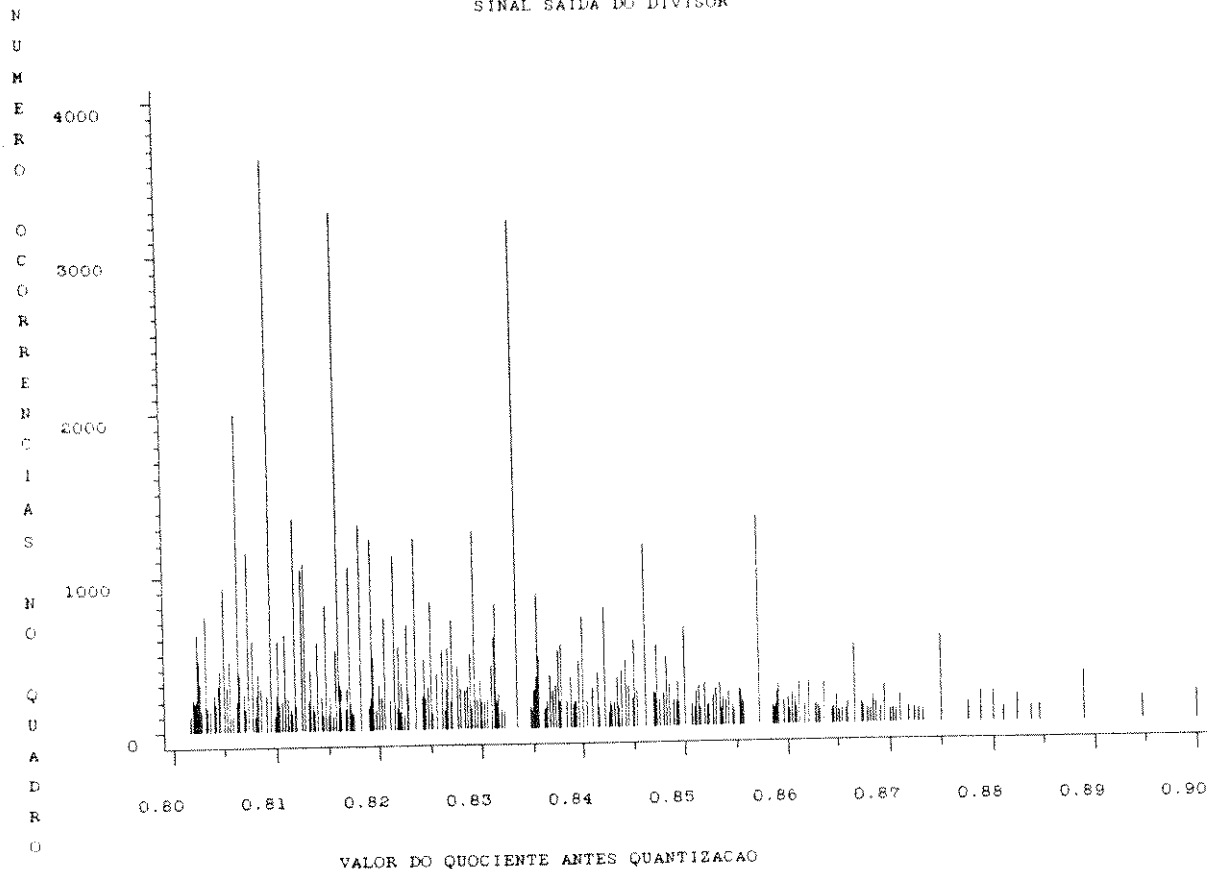
(a) 0,7 e 0,8

(b) 0,8 e 0,9

PDF DO SINAL QNA

NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR



(b)

Fig. III.22 - PDF do sinal q entre:

(a) 0,7 e 0,8

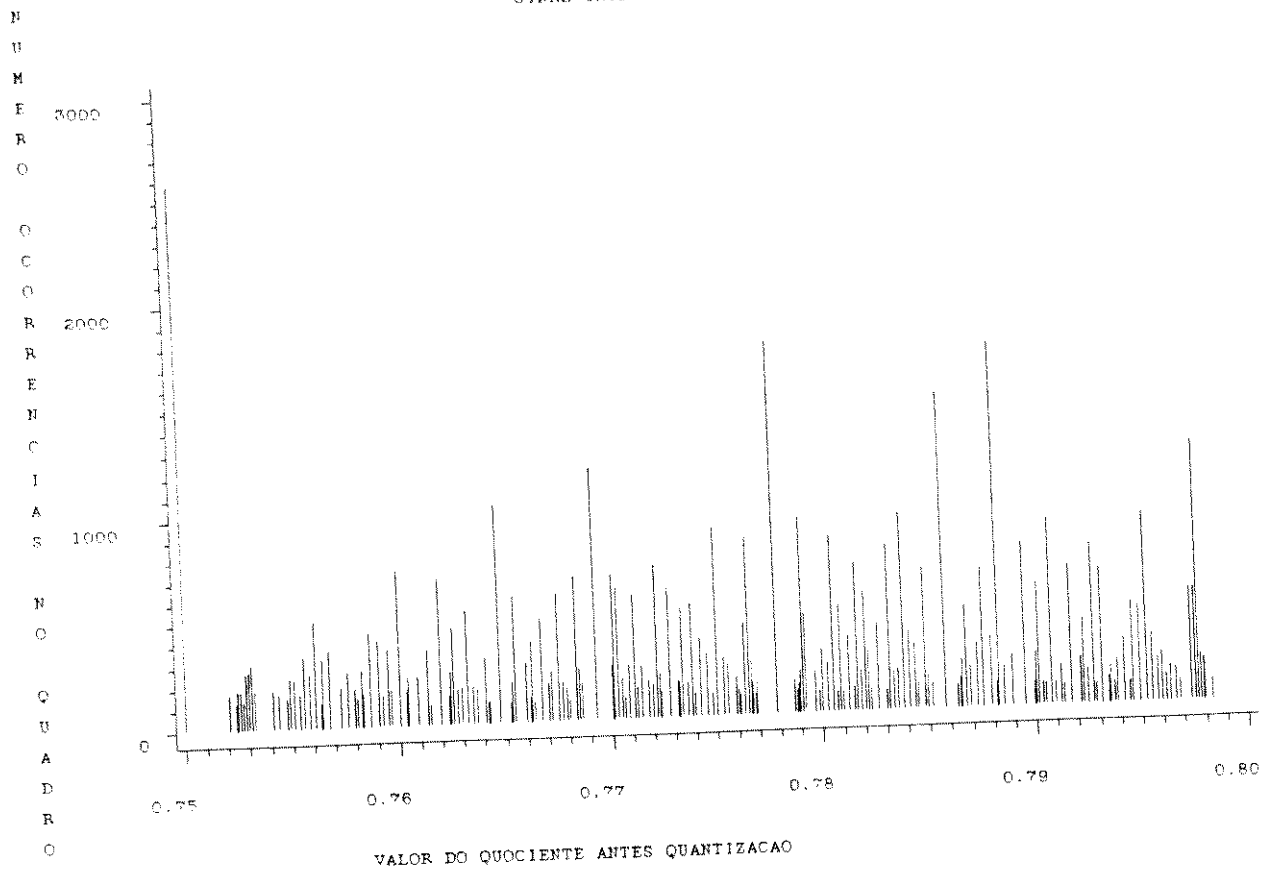
(b) 0,8 e 0,9

Na Fig. III.22 vê-se o comportamento do sinal quociente no intervalo principal da quantização. Porém, ainda não se consegue distinguir perfeitamente os níveis.

PDF DO SINAL QNA

MX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25

SINAL SAIDA DO DIVISOR



(a)

Fig. III.23 - PDF entre:

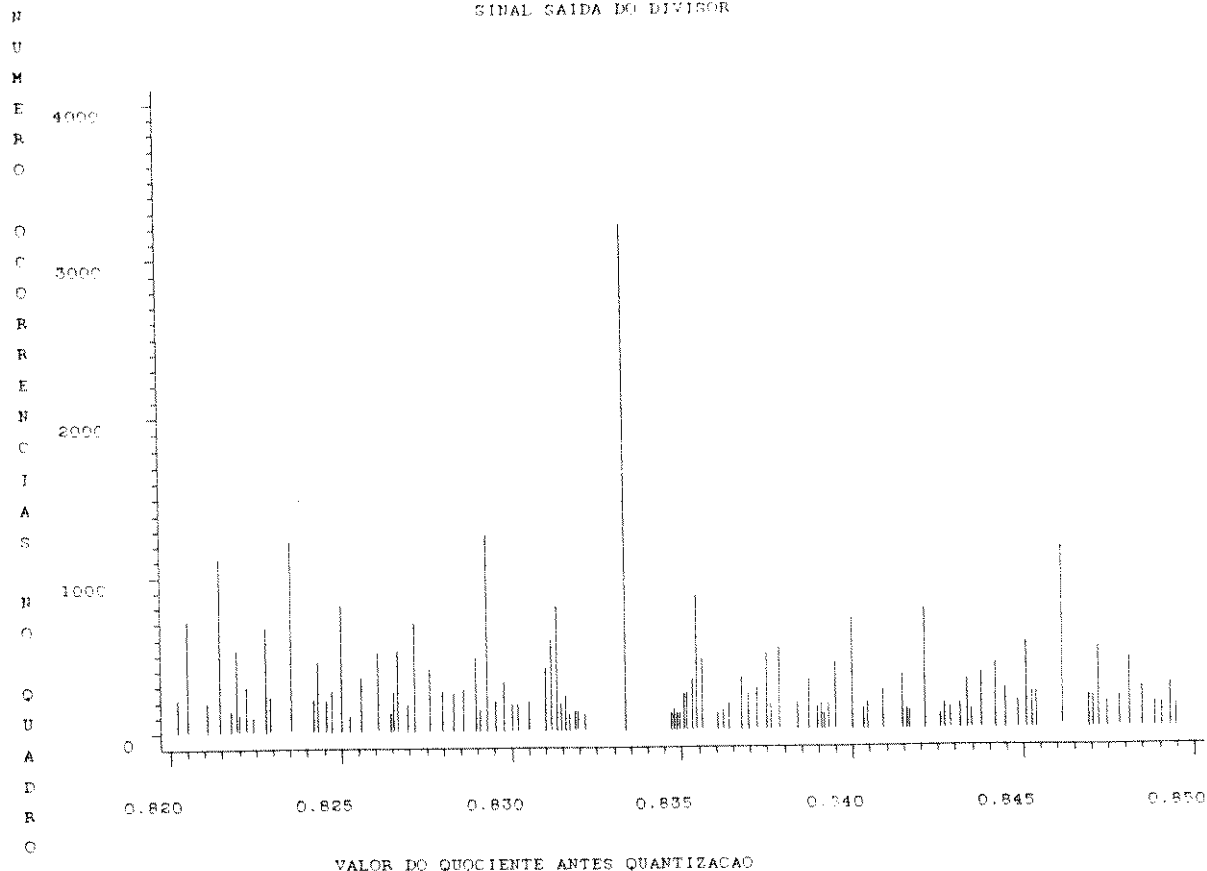
(a) 0,75 e 0,8

(b) 0,82 e 0,85

PDF DO SINAL QNA

$NX=16$ $A=0,75$ $B=0,25$ $C=0,25$

SINAL SAÍDA DO DIVISOR



(b)

Fig. III.23 - PDF entre:

(a) 0,75 e 0,8

(b) 0,82 e 0,85

Através dos histogramas apresentados acima e outros mais detalhados (ver apêndice B), foram escolhidos todos os níveis de saída e limiares de decisão do quantizador. Na Fig. III.24, abaixo,

vê-se a quantidade de níveis de saída do QUANT15, em alguns sub-intervalos do sinal quociente.

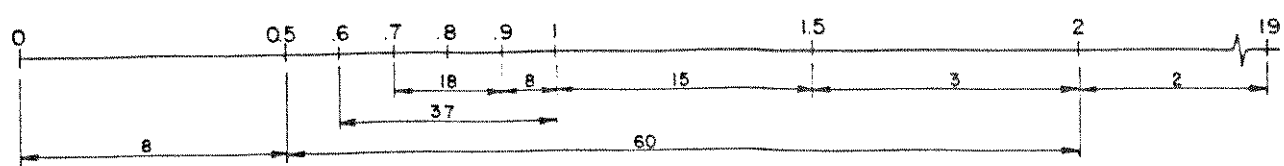


Fig. III.24 - Distribuição dos 70 níveis de saída do QUANT15 dentro do intervalo de variação do sinal quociente.

Na Tab. III.10, é mostrada a quantidade de níveis de saída para os principais intervalos de quantização.

Tab. III.10 - Número de níveis de saída para os intervalos principais de quantização do QUANT15

Intervalo de Quantização	Número de níveis de saída do quantizador
0.79 - 0.81	2 (0-1)
0.78 - 0.82	4 (1-2)
0.77 - 0.83	7 (3-3)
0.76 - 0.84	8 (4-3)
0.75 - 0.85	10 (5-4)
0.74 - 0.86	11 (6-4)
0.72 - 0.88	13 (7-5)
0.7 - 0.8	11
0.8 - 0.9	6
0.7 - 0.9	18 (11-6)
0.5 - 0.6	6
0.6 - 0.7	12

Na Tab. III.11 estão os níveis de saída e suas respectivas frequências de ocorrência, e na Tab. III.12, os limiares de decisão.

Tab. III.11 - Níveis de saída e respectivas frequências de ocorrência
do QUANT15

Nível de saída	Valor do nível	Freq. de ocorrência [%]	Nível de saída	Valor do nível	Freq. de ocorrência [%]
OL1	15	.0009	OL36	0.7882	7.10
OL2	5	0.57	OL37	0.7778	6.71
OL3	2.0	0.61	OL38	0.7692	5.41
OL4	1.9	0.01	OL39	0.7600	4.79
OL5	1.7	0.18	OL40	0.75	3.46
OL5	1.5	0.41	OL41	0.7419	2.01
OL7	1.4	0.01	OL42	0.7333	2.02
OL8	1.3	0.02	OL43	0.7143	1.63
OL9	1.25	0.27	OL44	0.71	0.37
OL10	1.2	0.2	OL45	0.705	0.36
OL11	1.15	0.11	OL46	0.7	0.3
OL12	1.12	0.16	OL47	0.695	0.28
OL13	1.11	0.17	OL48	0.69	0.35
OL14	1.1	0.21	OL49	0.68	0.40
OL15	1.08	0.2	OL50	0.6666	1.34
OL16	1.06	0.15	OL51	0.66	0.25
OL17	1.045	0.14	OL52	0.65	0.28
OL18	1.03	0.18	OL53	0.64	0.24
OL19	1.015	0.16	OL54	0.63	0.19
OL20	1.007	0.09	OL55	0.62	0.19
OL21	1.0000	1.72	OL56	0.61	0.19
OL22	1.98	0.34	OL57	0.6	0.23
OL23	1.96	0.44	OL58	0.58	1.25
OL24	1.94	0.52	OL59	0.56	1.19
OL25	1.925	0.5	OL60	0.54	0.13
OL26	1.915	0.44	OL61	0.52	0.11
OL27	1.909	0.32	OL62	0.5	0.6
OL28	1.904	0.33	OL63	0.45	0.21
OL29	1.9000	1.21	OL64	0.4	0.32
OL30	1.875	3.86	OL65	0.35	0.04
OL31	1.8571	7.52	OL66	0.3	.0035
OL32	1.8333	12.62	OL67	0.2	.0029
OL33	1.816	7.97	OL68	0.15	0.39
OL34	1.8095	5.64	OL69	0.1	0.24
OL35	0.80000	11.24	OL70	0.0	0.82

Tab. III.12 - Limiares de decisão do QUANT15

Limiar de decisão	Valor do limiar	Limiar de decisão	Valor do limiar
DL1	8	DL36	0.7835
DL2	3.5	DL37	0.7737
DL3	1.95	DL38	0.765
DL4	1.85	DL39	0.7555
DL5	1.61	DL40	0.746
DL6	1.455	DL41	0.738
DL7	1.355	DL42	0.727
DL8	1.278	DL43	0.7123
DL9	1.228	DL44	0.7077
DL10	1.178	DL45	0.7027
DL11	1.137	DL46	0.6977
DL12	1.1155	DL47	0.6927
DL13	1.1055	DL48	0.6852
DL14	1.091	DL49	0.6751
DL15	1.071	DL50	0.6635
DL16	1.0535	DL51	0.6552
DL17	1.0385	DL52	0.6452
DL18	1.0235	DL53	0.6352
DL19	1.0112	DL54	0.6252
DL20	1.0038	DL55	0.6152
DL21	0.991	DL56	0.6052
DL22	0.971	DL57	0.591
DL23	0.951	DL58	0.571
DL24	0.9335	DL59	0.551
DL25	0.9205	DL60	0.531
DL26	0.9122	DL61	0.511
DL27	0.9067	DL62	0.477
DL28	0.9022	DL63	0.427
DL29	0.889	DL64	0.377
DL30	0.867	DL65	0.327
DL31	0.8463	DL66	0.255
DL32	0.8255	DL67	0.177
DL33	0.813	DL68	0.127
DL34	0.8052	DL69	0.055
DL35	0.794		

Neste capítulo, foram dadas as principais informações a respeito do comportamento dos sinais do sistema QPCM e da implementação de seus preditores e quantizadores. Esses dois blocos são o coração do sistema. No capítulo seguinte falar-se-á a respeito das simulações e dos resultados obtidos com esse sistema.

CAPÍTULO IV

SIMULAÇÕES E RESULTADOS

CAPÍTULO IV

SIMULAÇÕES E RESULTADOS

IV.1 - SIMULAÇÕES

O sistema QPCM foi implementado em software para simulação em computador na linguagem FORTRAN. Foi usado o FORTRAN77 e as simulações foram feitas em ambiente VAX/VMS, no VAX 785 da UNICAMP. Para se traçar as pdfs do sinal quociente foi utilizado o SAS (Statistical Analysis System), pacote estatístico que tem sua linguagem própria. O primeiro software utilizado para simulação do sistema QPCM era uma adaptação de um já existente implementado para simular o sistema DPCM [15]. Este estava escrito na linguagem FORTRAN, o que motivou o uso dessa. No software atual quase nada resta da 1ª versão.

O sistema QPCM em si, nas partes de operações matemáticas, foi razoavelmente simples de se implementar. O preditor, devido a sua simplicidade, teve a sua implementação bastante facilitada e não causou nenhum problema posterior. O quantizador causou algumas dificuldades na implementação. Foi feita uma primeira versão, a qual era utilizada para simulação do QUANT1; em seguida, otimizou-se essa

rotina do quantizador, o que resultou em uma versão bastante flexível, na qual pode-se variar o número de níveis de saída de 1 a 70 facilmente. Essa versão é usada nas simulações dos quantizadores QUANT04 e QUANT15, e para isso, basta alterar os valores dos níveis de saída e limiares de decisão.

Na implementação, o que exigiu mais trabalho, e mais tempo requereu, foi a parte de cálculo dos parâmetros de avaliação do sistema. O cálculo da entropia do sinal quociente e do sinal quociente quantizado foi dificultado pelo fato de se estar trabalhando nesses casos com números reais, e o FORTRAN77 não apresentar recursos diretos para contagem desse tipo de variável. Inicialmente, calculava-se a entropia dos dois sinais, porém, na versão final, é calculada apenas a do sinal quociente quantizado. O cálculo da relação sinal-ruído não causou problemas na implementação, mas foi necessário esclarecer em relação a esse parâmetro alguns problemas de ordem conceitual. De início, essa parte foi mantida como no algoritmo para simulação do sistema DPCM. Porém, foi constatado que o resultado final desse cálculo, em termos numéricos, não representava, na realidade, o desempenho do sistema QPCM. Foi feito, então, um estudo desse parâmetro, do método usado para o seu cálculo e da sua relação com a análise subjetiva e outros parâmetros objetivos (ver item II.3.2). Foi examinado qual o melhor método de cálculo da relação sinal-ruído, qual a sua verdadeira expressão como parâmetro de avaliação do sistema e qual seria a sua representatividade da qualidade final da imagem processada, principalmente quando se compara dois sistemas usando do critério objetivo. Foram consultadas as recomendações do CCIR [16] [17], sendo que com relação a esse ponto, não existe ainda nenhuma padronização definida. Não existem ainda parâmetros de análise de desempenho para

sistemas digitais de processamento e transmissão de sinal de TV comercial que estejam padronizados. Assim, o cálculo da relação sinal-ruído foi ao máximo melhorado e adaptado a esse tipo de sistema. No item II.3.2.1, encontra-se o procedimento adotado para o cálculo.

Nas recomendações do CCIR, existe apenas uma exigência em relação a sistemas digitais de transmissão de TV comercial: é que a sua qualidade subjetiva não seja inferior a de sistemas analógicos equivalentes. Em termos práticos, principalmenteno caso deste trabalho, essa comparação é muito difícil de ser feita.

No caso do ruído final, introduzido pelo sistema, o CCIR faz três recomendações importantes. A primeira é que o ruído usado no cálculo da S/N^1 seja tomado em seu valor RMS. A segunda é que o ruído seja limitado em banda de tal modo que o limite inferior da banda de passagem elimine o "hum" da fonte de alimentação e a microfonia, já o limite superior deve ser tal que elimine qualquer ruído fora da banda de passagem do sinal de vídeo. A terceira e mais significativa exigência é que o ruído seja ponderado dentro da faixa de passagem do sinal, de tal forma que ruídos nas altas frequências tenham peso menor que nas baixas. Isso deve ser feito através de fatores de peso apropriados para se corrigir a S/N não ponderada. Todas as três recomendações, quando adotadas, elevam a relação sinal-ruído, pois limitam o ruído apenas ao que é visível ao olho humano e ao que afeta o sinal. No software para simulação do sistema QPCM, o ruído é tomado em seu valor pico-a-pico e não RMS; para se

$$^1 \quad \frac{S}{N} = 20 \log \left(\frac{S}{N_{RMS}} \right)$$

compensar a diminuição causada na S/N a média do sinal é tomada como 70% do seu valor máximo. Porém, não é realizada a limitação em banda (filtragem) do ruído, nem tampouco a ponderação. Assim, à relação sinal-ruído apresentada nesta dissertação devem ser acrescentados alguns dBs para que se chegue ao seu valor correto, dentro das recomendações do CCIR. Ou seja, essa S/N é menor que o seu valor real. A otimização desse parâmetro causou as últimas alterações, que foram realizadas no software em questão.

A quantização foi a única parte do sistema colocada em subrotina; assim, para se mudar o quantizador basta mudar a subrotina, ou seja, o nome da subrotina dentro do programa. Não se colocou a predição em uma subrotina devido a sua simplicidade e a facilidade de alteração dos seus coeficientes. Todos os programas utilizados nas simulações são mostrados no Apêndice "A" desta dissertação. O programa utilizado para se traçar as pdfs também é mostrado, porém não se deve esquecer que ele está escrito em linguagem própria do SAS. Os programas usados para composição das primárias (R, G e B) no sinal PAL-M, e decomposição desse sinal, não serão mostrados, pois encontram-se na referência [RT-154].

IV.2 - RESULTADOS

Os resultados obtidos foram considerados extremamente promissores. Conseguiu-se chegar à taxa desejada de 34 Mb/s, com boa qualidade para a imagem processada. No processo de avaliação do

sistema, a avaliação subjetiva foi considerada a mais representativa com relação ao desempenho. Constatou-se que a relação sinal-ruído nem sempre representa um bom parâmetro de avaliação para sistemas digitais de processamento de imagens, principalmente quando se trata de um sistema de redução de redundância, como é o caso do sistema QPCM. Na comparação de desempenho entre sistemas, esse parâmetro mostrou-se impreciso quando da análise subjetiva, sendo esse seu ponto mais duvidoso. Para uma melhora na precisão e confiabilidade do parâmetro relação sinal-ruído, deve ser imposta a condição de menor peso para o ruído nas altas frequências. Foram feitas comparações dos arquivos de entrada e recuperado (ver item II.3.2.1), onde era possível se observar em que área da imagem estava o ruído, a média do ruído linha a linha e a média do ruído em todo o quadro. Essas comparações foram realizadas, utilizando-se as imagens 02 (sala), 04 (Zelda) e 15 (cozinha) para o vários tipos de preditores e quantizadores do sistema QPCM. Constatou-se, por meio dessas análises, que o ruído introduzido pelo sistema localiza-se quase que absolutamente nas altas frequências. Ou seja, nas áreas da imagem com variações rápidas, que têm altos detalhes e bordas. Como já foi mencionado, o olho humano não tem alta sensibilidade a ruído nesses tipos de áreas da imagem. Chega-se à conclusão que, por esse motivo, não se nota degradação nenhuma na imagem recuperada quando da análise subjetiva, apesar da mesma ser detectada pelos parâmetros objetivos. Observando-se o arquivo que mostra o comportamento do ruído, nota-se que as primeiras linhas do quadro são as que apresentam maior número de pixels com ruído, e também maior ruído médio. A partir da sexta ou sétima linha, o ruído médio passa a ser "1", sendo que até o final do quadro mantém-se esse ruído médio. Isso significa que a média do ruído, para todo o quadro, é de apenas "1" nível em "255", o que é

absolutamente invisível ao olho humano. Foi constatado ainda que apenas cerca de 10 a 15% dos pixels do quadro apresentam ruído, sendo que aproximadamente 90% deles (ou seja, entre 9 e 13,5% de todo o quadro) apresenta ruído de apenas 1 nível. Isso indica uma excelente qualidade para a imagem processada e recuperada, o que se confirmou na avaliação subjetiva.

A seguir, serão mostradas tabelas com os resultados de desempenho objetivo obtidos para o sistema QPCM. Nessas tabelas serão mostradas a relação sinal-ruído, a entropia do sinal de saída e a taxa de transmissão de bits para cada par preditor/quantizador utilizados. Primeiro, serão mostrados os resultados obtidos com o QUANT1, que serviram de base para o aperfeiçoamento da quantização. Essa tabela referente ao QUANT1 será mostrada para que se observe o comportamento do preditor e do sistema, variando-se os coeficientes de predição. Foi com o QUANT1 que se fez o maior número de testes com o preditor. Não serão mostradas as tabelas com as frequências de ocorrência dos níveis de saída do quantizador devido ao grande número de preditores testados. Porém, será comentado o comportamento do sistema para os casos mais significativos. Serão mostrados os resultados das simulações com as imagens 02 (sala) e 04 (Zelda), apenas para que se compare o desempenho do sistema com imagens distintas. Abaixo, na Tab. IV.1, são mostrados os resultados com o QUANT1 e a imagem 15 (cozinha), para vários preditores.

Tab. IV.1 - Resultados obtidos com o QUANT1 e a imagem 15 para
vários preditores

NX	A	B	C	RSNE [dB]	HQ0 [bit/ palavra]	TR [Mb/s]	KQ
15	0.5	0.25	0.25	35.5310	5.7560	54.8829	70
15	0.5	0.35	0.35	34.2885	3.3208	31.6638	70
15	0.5	-0.25	0.25	11.4485	0.5478	5.2230	70
15	0.5	0.25	-0.25	11.2839	0.2333	2.2242	70
15	0.5	0.5	0.5	29.5607	2.3597	22.4994	70
15	0.75	0.25	0.25	36.1992	2.9746	28.3630	70
15	0.75	0.25	-0.25	24.8102	2.8188	26.8775	70
15	0.75	-0.25	0.25	24.8145	2.8619	27.2885	70
15	0.75	0.35	0.25	33.8660	2.5888	24.6843	70
15	0.75	0.25	0.35	33.8336	2.6235	25.0148	70
15	0.75	0.35	0.35	30.7694	2.3284	22.2013	70
15	0.85	0.25	0.25	34.6762	2.6117	24.9026	70
15	0.85	0.35	0.35	28.6754	2.4205	23.0794	70
15	0.65	0.25	0.25	36.5354	4.0612	38.7234	70
15	0.6	0.2	0.2	35.2809	5.7659	54.9773	70
15	1.0	0	0	32.4359	5.8171	55.4655	70
15	0.7	0.25	0.25	36.4823	3.3521	31.9624	70
15	0.65	0.35	0.35	33.3901	2.5868	24.6651	70
15	0.25	0.5	0.5	32.6770	2.8958	27.6118	70
15	0.25	0.25	0.25	23.6170	2.5444	24.2603	70

Na Tab. IV.1 tem-se:

NX → Número da imagem utilizada na simulação
A,B e C → Coeficientes de predição

RSNE	→ Relação sinal-ruído [dB]
HQQ	→ Entropia do sinal de saída (quociente quantizado) [bit/palavra]
TR	→ Taxa de transmissão de bit [Mb/s]
KQ	→ Número de níveis de saída do quantizador

Na Tab. IV.1, vê-se que com o preditor 1 ($A=0,5$ e $B=C=0,25$) e o QUANT1, o sistema QPCM apresenta uma relação sinal-ruído de 35,53 dB, a entropia do sinal de saída é de 5,76 bit/amostra, o que dá uma taxa de transmissão de bits de 54,8829 Mb/s. Na avaliação subjetiva a imagem processada, nesse caso, foi considerada muito boa, porém, a relação sinal-ruído ainda era baixa. A taxa de bit, como se vê, é alta em relação ao objetivo colocado de 34 Mb/s. Os níveis de saída desse quantizador, bem como suas frequências de ocorrência, podem ser vistos nas Tab III.1 e Tab. III.3. Na Tab. IV.1, vê-se o caso em que $A=1$ e $B=C=0$, correspondente ao uso do valor da amostra prévia como predição, que apresenta uma baixa relação sinal-ruído, e uma alta taxa de bits na linha, por esse motivo foi descartado.

Observando-se a Tab. IV.1, notam-se alguns detalhes interessantes. Os preditores que têm coeficientes de predição negativos apresentam baixa taxa de transmissão (considerando-se sinal de TV comercial), isso se deve ao fato de esses preditores concentrarem o sinal quociente em torno do valor 2, aumentando consideravelmente a frequência de ocorrência do nível de saída 2, e dos níveis vizinhos. Os preditores com coeficientes de predição elevados, acima de "0,6", apresentam a concentração do sinal quociente em torno do valor "0,8", aumentando a frequência de ocorrência desse nível de saída e vizinhos. Esses últimos apresentam relação sinal-ruído,

maiores que aqueles preditores que concentram os níveis de saída em torno de valores maiores que "1,5". Isso em razão do erro de quantização ser menor em regiões próximas de "1".

O melhor desempenho é obtido com o preditor 2 ($A=0,75$ e $B=C=0,25$), que apresenta uma relação sinal-ruído bem próxima da maior conseguida com o QUANT1, e a taxa de bits menor que a meta de 34 Mb/s. Vários preditores apresentam uma taxa de transmissão menor, porém, têm a S/N muito menor. Esses preditores poderão ter utilidade quando o sistema QPCM tiver esquema adaptativo de predição. O preditor que apresenta o melhor par (S/N,TR) é então o número 2. As informações obtidas nas simulações com o QUANT1 foram de extrema importância no entendimento do comportamento do sistema QPCM, dos sinais característicos deste e no aperfeiçoamento do quantizador. Não foram feitas as avaliações subjetivas de todos os casos devido a problemas operacionais que impossibilitaram o acesso ao Sitim, de fato, dependia-se da disponibilidade desse equipamento. Isso dificultou enormemente a avaliação subjetiva do sistema QPCM.

Na Tab. IV.2 abaixo, vê-se os parâmetros de desempenho para as imagens 02 (sala) e 04 (Zelda), obtidas nas simulações do sistema com o QUANT1 e vários preditores. Nota-se que o comportamento do sistema é semelhante àquele com a imagem 15. Com essas duas imagens o melhor desempenho também foi conseguido com o preditor 2.

Tab. IV.2 - Resultados obtidos com o QUANT1 e as imagens 02 e 04
para vários preditores

NX	A	B	C	RSNE	HQQ	TR	KQ
02	0.5	0.25	0.25	35.572	5.53	52.77	70
02	0.5	0.25	-0.25	11.7434	0.2214	2.1107	70
02	0.5	-0.25	0.25	11.8098	0.5803	5.5335	70
02	0.75	0.25	0.25	36.422	2.9652	28.2732	70
02	0.85	0.25	0.25	34.4305	2.6977	25.7224	70
02	0.65	0.25	0.25	37.0513	4.0188	38.3190	70
02	0.6	0.25	0.25	36.8976	4.9535	47.2314	70
02	0.7	0.25	0.25	36.6869	3.3802	32.2305	70
04	0.5	0.25	0.25	33.7067	5.4437	51.9056	70
04	0.75	0.25	0.25	34.8495	3.2894	31.3646	70
04	0.85	0.25	0.25	33.2235	2.9721	28.3392	70
04	0.7	0.35	0.35	32.0847	2.7687	26.3994	70
04	0.65	0.25	0.25	35.1734	4.3118	41.1125	70
04	0.65	0.35	0.35	32.5605	2.9092	27.7392	70
02	0.65	0.35	0.35	33.3350	2.6424	25.1956	70
02	0.65	0.35	0.25	35.7871	2.9040	27.6896	70

Na Tab. IV.3 abaixo, são mostrados os resultados obtidos para o preditor 2, com o QUANT15 e alguns quantizadores dele derivados.

Tab. IV.3 - Resultados obtidos para o preditor 2 com o QUANT15 e quantizadores dele derivados

NX	QUANT	A	B	C	RSNE	HQQ	TR	KQ	
15	15	0.75	0.25	0.25	47.2748	4.5738	43.6018	70	Caso 1
15	15	0.75	0.25	0.25	42.5730	3.6641	34.9374	66	Caso 2
15	15	0.75	0.25	0.25	46.8807	4.5728	43.6018	70	Caso 3
15	15	0.75	0.25	0.25	33.8238	4.5027	42.9334	61	Caso 4
15	15	0.75	0.25	0.25	43.9508	4.5729	43.6021	69	Caso 5
15	15	0.75	0.25	0.25	46.1151	4.2971	40.9731	68	Caso 6
15	15	0.75	0.25	0.25	45.4710	4.2051	40.0958	68	Caso 7

Pela Tab. IV.3, observa-se que o desempenho do sistema QPCM, com o QUANT15, melhorou muito em termos de relação sinal-ruído comparado ao QUANT1. Com o QUANT15 e o preditor 2 a S/N é de 47,27 dB, 11 dB maior que com o QUANT1, o que mostra que houve realmente uma melhora na quantização. Porém, como se pode notar, comparando-se as Tab. IV.3 e Tab. IV.1 a taxa de bit no caso do QUANT15 é cerca de 15 Mb/s maior que do QUANT1. Isso ocorre pelo fato de se ter aumentado o número de níveis de saída do quantizador em torno do nível 0,8, diminuindo a concentração do sinal quociente quantizado, que ficou mais "espalhado". Esse "espalhamento" aumenta a entropia desse sinal, causando, conseqüentemente, um aumento na taxa de transmissão. Como o objetivo desse trabalho é alcançar uma taxa compatível com a 3ª hierarquia PCM, que é 34 Mb/s, procurou-se concentrar o sinal de saída do quantizador para se chegar a essa taxa. O que se fez foi tirar dois níveis de saída do QUANT15,

imediatamente à direita, e dois imediatamente à esquerda do nível 0,8. Resultou dessa modificação um quantizador com 66 níveis de saída. Esse quantizador é mostrado na Tab. IV.3. Como caso 2, ele apresenta uma entropia na saída de 3,66 bit/amostra, o que equivale a uma taxa de transmissão de aproximadamente 34 Mb/s, que é o objetivo do sistema. A relação sinal-ruído, nesse caso, é de 42,57 dB, que ainda é 6,37 dB maior que para o caso do QUANT1. Foram feitas avaliações subjetivas desses dois últimos casos, não foi possível se notar degradação na imagem recuperada em nenhum tipo de área. Os outros casos, mostrados na Tab. IV.3, foram realizados para experiência com o sistema e a quantização. Não foi feita avaliação subjetiva para esses casos devido ao problema operacional já citado. No caso 3 da Tab. IV.3, apenas se trocou o valor do maior nível de saída do QUANT15, de 15 para 11 e a S/N diminuiu. O quantizador do caso 4 não tem nível de saída abaixo de 0,5, ou seja, o valor do seu menor nível de saída é 0,5, o seu número de níveis foi diminuído para 61, porém, a taxa de transmissão diminuiu menos de 1 Mb/s, sendo que a S/N caiu 13 dB. Esse fato indica que as altas frequências do sinal de vídeo, onde o erro de predição é maior, têm grande influência na relação sinal-ruído, apesar de serem pouco visíveis (e terem pequena importância) e representarem uma pequena parte do sinal. O caso 5 da Tab. IV.3 confirma essa afirmação. O que se fez foi eliminar o maior nível de saída do QUANT15, igual a 15, ficando ele com o maior nível igual a 5, e 69 níveis de saída. Como se vê, a entropia do sinal quantizado nada ou quase nada mudou, porém, a S/N caiu quase 4 dB. Nos casos 6 e 7 da Tab. IV.3 foram feitas alterações nos níveis de saída próximos de "0,8" e como se pode ver a taxa de transmissão caiu cerca de 3 Mb/s, enquanto a S/N apenas pouco mais de 1 dB.

O ponto importante do QUANT15 é que se conseguiu atingir a

taxa desejada com uma relação sinal-ruído de 42,57 dB, e na avaliação subjetiva o ruído acrescentado foi imperceptível. Isso significa que pela análise subjetiva não existe degradação na imagem.

A Tab IV.4, a seguir, mostra os resultados obtidos para o QUANT04, e quantizadores dele derivados.

Tab. IV.4 - Parâmetros objetivos obtidos para o QUANT04 e quantizadores dele derivados

NX	QUANT	A	B	C	RSNE	HQQ	TR	KQ	
04	04	0.5	0.25	0.25	42.3449	5.5898	53.2981	70	Caso 1
04	04	0.5	0.25	0.25	41.8787	5.4339	51.8124	68	Caso 2
04	04	0.75	0.25	0.25	39.0890	3.6573	34.8723	68	Caso 3
04	04	0.75	0.25	0.25	39.0782	3.6417	34.7239	66	Caso 4

Pela Tab. IV.4 observa-se que a relação sinal-ruído do sistema, fazendo-se uso do QUANT04 e preditor 1 ($A=0,5$ e $B=C=0,25$) é de 42,34 dB; esse valor é 8,64 dB maior que o obtido com o sistema utilizando o mesmo preditor e o QUANT1, também com 70 níveis de saída (comparar com Tab. IV.2). Nesse caso, demonstra-se, também, que houve um aperfeiçoamento do quantizador. A taxa de transmissão de bits com o QUANT04 e o preditor 1 é de 53,3 Mb/s, que está muito acima da desejada. Com o preditor 1 foram feitas tentativas, porém, não se conseguiu atingir a taxa de 34 Mb/s. Tirou-se do QUANT04 os dois níveis mais próximos de 1, ficando esse com 68 níveis de saída. Isso foi feito na tentativa de se aumentar a frequência de

ocorrência do nível 1 e diminuir a taxa de bits na linha. Como se pode ver na Tab. IV.4 a taxa caiu para 51,8124 Mb/s, ainda muito longe do desejado. Isso acontece devido à variância da pdf do sinal quociente, que para o preditor 1 é muito alta para se atingir 34 Mb/s com boa qualidade de imagem.

Fez-se, então, um experimento com o QUANT04 e o preditor 2, tirando-se os dois níveis de saída mais próximos de 0,8, aumentando, dessa maneira, a concentração do sinal quantizado. O quantizador ficou com 68 níveis de saída (na Tab. IV.4 é o caso 3). Vê-se que a relação sinal-ruído é de 39,09 dB, comparando-se com a Tab. IV.2, observa-se que ela está 4,24 dB acima da S/N com o mesmo preditor e o QUANT1. O aumento da concentração do sinal de saída diminuiu sua entropia, abaixando a taxa de bits para aproximadamente 34 Mb/s, que é o objetivo que se busca.

Foi feita outra experiência com esse quantizador de 68 níveis e o preditor 2, retirando-se mais dois níveis de saída, dessa vez, vizinhos ao nível 1, ficando o quantizador com 66 níveis. Como pode-se ver pela Tab. IV.4, não houve quase alteração nenhuma, tanto na taxa de bits como na relação sinal-ruído pois alterou-se uma região de quantização com frequência de ocorrência baixa e pequeno erro de quantização.

Foram mostrados e comentados, neste capítulo, os resultados obtidos nas simulações com preditores e quantizadores que foram implementados especificamente para o sistema QPCM, levando-se em consideração as características intrínsecas a esse esquema.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

O objetivo desta tese foi pesquisar um sistema digital de redução de redundância para transmissão de sinal de TV comercial. Uma das metas foi buscar subsídios teóricos para auxiliar a implementação em hardware de um codec para codificação de sinal de televisão comercial. Por essa razão foram colocadas certas restrições práticas, visando a maior simplicidade possível, para que se facilitasse ao máximo a implementação física.

A meta a ser alcançada era uma taxa de bits compatível com a 3ª hierarquia PCM do CCITT, que é de 34 Mb/s. Esse é um objetivo difícil de se atingir, visto que deve ser feita uma redução superior a 50% na taxa inicial (PCM), de entrada do sistema. A dificuldade está em se manter a qualidade de TV comercial para o sinal transmitido.

Iniciou-se este estudo, investigando o sistema mais conhecido, empregado na redução de taxa de bits, que é o DPCM. Foram feitas muitas simulações, com um software já existente [15], visando testar o desempenho desse sistema em relação a dois parâmetros, ou seja, a eficiência na redução da taxa de bits na linha, e a qualidade de imagem do sinal transmitido.

Várias restrições visando simplicidade foram colocadas com relação à predição. A primeira foi que a Técnica de Amarração de Fase (TAF) não deveria ser usada, devido a complexidade de implementação exigida por preditores que utilizam este artifício. A predição seria em esquema fixo, e foi restrita à ordem três; seria também do tipo intracampo, usando amostras da linha prévia. Com essas restrições não foi possível obter um bom desempenho para o sistema DPCM.

Assim, iniciou-se o estudo de um sistema derivado do DPCM, no qual se substitui o subtrator do DPCM por um divisor; e no lugar do somador tem-se um multiplicador para recuperação do sinal de entrada. A estrutura do novo sistema é exatamente a mesma do DPCM, porém, seus sinais intrínsecos têm características totalmente diferentes dos deste último.

Na saída do divisor tem-se o sinal quociente, dele vem o nome "QPCM". Esse sinal tem características peculiares, as quais fazem com que o sistema apresente um bom desempenho e seja vantajoso no que diz respeito à redução de taxa de bit. A principal característica é a forma de sua PDF (Probability Density Function), onde se nota uma proximidade e concentração muito grande das palavras, principalmente nas regiões de maior interesse para a quantização. Isso resulta em um erro de quantização extremamente pequeno, quase desprezível, e faz com que o ruído final introduzido pelo sistema QPCM seja imperceptível ao olho humano. Esse fato representa boa qualidade para a imagem recuperada.

O sistema QPCM (como mostrado na Fig. II.6) foi implementado em "software" para simulação, e escrito (codificado) em linguagem FORTRAN. No início as simulações eram feitas com um "software" que foi adaptado de um outro usado para simular o sistema DPCM [15]. As simulações são feitas atualmente, utilizando-se um programa

desenvolvido especificamente para as novas metas e objetivos. Mantém-se do programa original apenas a estrutura do fluxograma que era usado para o DPCM.

Na implementação foram encontradas diversas dificuldades. A primeira delas, devido ao uso do FORTRAN, foi o cálculo da entropia, tanto do sinal quociente, como do quociente quantizado. Essa dificuldade surgiu em razão de se ter que fazer a contagem de numeros reais, e a linguagem não oferecer recursos diretos para isto. O problema requereu um tempo razoável para ser solucionado.

A outra grande dificuldade encontrada foi com relação à metodologia que seria usada no cálculo da relação sinal-ruído. Inicialmente, usou-se a mesma do programa para simulação do sistema DPCM, porém, esta não se mostrou realista quando da avaliação subjetiva. Foi então realizado um estudo aprofundado desse parâmetro, e de como era feito o seu cálculo para o sinal digital de TV. Chegou-se assim a metodologia e equação atuais (ver programas no Apendice A e eq. (II.26)) usadas nesse cálculo. No estudo foram levadas em consideração algumas das restrições do CCIR [16] [17], tal como o uso do valor médio quadrático (RMS) do ruído, impostas ao ruído utilizado no cálculo da relação sinal-ruído, outras não. Contudo, as restrições não consideradas elevariam a S/N se fossem impostas. Isso significa que os números apresentados nesta tese são suficientemente conservativos para se ter confiança nos resultados obtidos. A cada alteração feita no cálculo da S/N eram realizadas simulações para teste, o que dispendeu um tempo considerável.

A avaliação subjetiva foi também problemática por razões operacionais, pois, a Faculdade de Engenharia Elétrica (FEE) não possui recursos para a sua realização. Esse fato impossibilitou a

apresentação nesta dissertação, de fotos das imagens processadas. Tornou também o teste subjetivo muito lento. A avaliação subjetiva teve que ser realizada, por ser esta fundamental na análise do desempenho, principalmente por se tratar de um sistema de processamento de imagens.

Foram feitas algumas análises objetivas complementares, como a comparação pixel a pixel dos arquivos de entrada e processado, para se investigar o comportamento do ruído introduzido pelo sistema QPCM. Nessa análise era possível verificar para o ruído, a localização em todo o quadro, magnitude por pixel afetado, magnitude média por linha, magnitude média no quadro e o número de pixels afetados. Assim, foi possível fazer uma avaliação objetiva precisa, do desempenho do sistema.

Na implementação dos quantizadores foi feito um estudo estatístico minucioso do sinal quociente. Foram utilizados para isso, vários dados a respeito desse sinal e de outros (x , $\hat{x}$, q^* , $\bar{x}$) intrínsecos ao sistema QPCM. A PDF do sinal quociente teve uma importância muito grande nesse estudo, e foi a principal informação na realização da quantização. Naquele momento o SAS (Statistical Analysis System) mostrou-se uma ferramenta de auxílio extremamente poderosa, e foi de grande utilidade para se traçar as PDFs.

O quantizador é a peça chave do sistema QPCM; através dele se realiza a redução de uma entropia de cerca de 9,5 bit/amostra do sinal quociente, para 3,6641 bit/amostra do sinal quociente quantizado. Essa redução brutal é feita mantendo-se a qualidade de imagem para TV comercial, para o sinal recuperado. Isso só é possível devido às características do sinal quociente.

O desempenho apresentado pelo sistema QPCM foi considerado

extremamente satisfatório. A relação sinal-ruído para o sistema, depois de aperfeiçoado, ficou sempre acima de 40 dB, e considerando a restrição ao ruído, esse número fica ainda maior. O melhor caso é quando se utiliza o preditor 2 em conjunto com o QUANT15, quando então o sistema apresenta uma S/N igual a 47 dB. Estes resultados foram considerados bons para a relação sinal-ruído. Deve-se considerar ainda, que não foram impostas duas das restrições ao ruído recomendadas pelo CCIR. A restrição quanto à ponderação do ruído, através de fatores de peso, nas altas e baixas frequências, é extremamente importante, pois, os ruídos nas altas frequências afetam de maneira significativa a relação sinal-ruído. Isso deverá ser feito numa etapa posterior.

A meta de 34 Mb/s para a taxa de bits na linha foi atingida com os dois preditores principais (1 e 2) do sistema QPCM. Para o preditor 2 esta taxa foi alcançada em conjunto com um quantizador de 66 níveis de saída, derivado do QUANT15, a relação sinal-ruído para esse caso foi de 42,6 dB. Na avaliação subjetiva a imagem recuperada não apresentou degradação perceptível.

Para o preditor 1 a taxa de 34 Mb/s foi conseguida em conjunto com um quantizador de 68 níveis, derivado do QUANT04, a relação sinal-ruído foi menor que a do caso anterior, ficando em 39,1 dB. A imagem recuperada não apresentou degradação na análise subjetiva.

Para os dois casos citados anteriormente, a relação sinal-ruído indica uma degradação introduzida pelo sistema, porém, na avaliação subjetiva não se nota degradação alguma; isto acontece em razão do ruído de maior magnitude (mais intenso) concentrar-se em áreas de variações rápidas do sinal, ou seja, nas altas frequências,

onde estão os detalhes finos da imagem, e o olho humano tem baixa sensibilidade a ruídos.

O teste subjetivo não foi realizado para todos os casos simulados com o sistema QPCM em razão dos problemas já citados, e de se ter uma quantidade muito grande de variações. Contudo, devido à sua extema importância, essa avaliação foi feita para os casos principais. Nenhum deles apresentou degradação perceptível.

A análise objetiva mostra que há uma degradação introduzida pelo sistema, porém, na análise subjetiva não é possível enxergá-la. Esse fato despertou curiosidade em relação a tal degradação, e a representatividade da relação sinal-ruído como parâmetro de avaliação para sistemas digitais de processamento de imagens. Por esse motivo foi feita uma análise minuciosa do ruído. Constatou-se que quase a totalidade do ruído, perto de 90%, tem magnitude de apenas 1 nível em 255. Os aproximadamente 10% restantes, que têm magnitude elevada, encontram-se em áreas nas quais são imperceptíveis ao olho humano, que são as de detalhes finos da imagem (altas frequências), e abaixo ou muito próximas do nível de preto. Somente cerca de 10 a 15% dos pixels do quadro são afetados por ruído.

Analisando todos os fatores apresentados, conclui-se que o sistema QPCM tem desempenho muito bom. Ele apresentou grande eficiência na redução de taxa de bits, e foi possível atingir a meta de 34 Mb/s, mantendo-se a qualidade da imagem processada muito boa. Isso foi confirmado tanto na avaliação objetiva, como na subjetiva.

A relação sinal-ruído não se mostrou totalmente confiável na avaliação de desempenho de sistemas digitais de processamento de

imagens, principalmente quando é usada para comparação entre sistemas distintos. Chegou-se a essa conclusão, pelo fato desse parâmetro ser afetado de maneira muito intensa por ruídos imperceptíveis ao olho humano. Isso causa uma degradação elevada na relação sinal-ruído, e como consequência uma distorção na avaliação. Dessa maneira, a análise subjetiva da imagem processada mostrou-se de grande importância para avaliação de desempenho de sistemas digitais.

Existe ,então, a necessidade de busca de novos parâmetros objetivos de avaliação para sistemas digitais, devido as dificuldades de realização e dependência do observador dos testes subjetivos. Principalmente nas análises comparativas entre sistemas distintos. Esse estudo, que seria a sequência deste trabalho, em busca de um novo parâmetro objetivo para ser usado na análise de desempenho de sistemas digitais de processamento de imagens, está previsto para uma etapa posterior.

O sistema QPCM demonstrou ter um desempenho muito bom, considerando-se tanto a redução da taxa de bits (redundância) como a qualidade final da imagem processada. Esse sistema é assim promissor para futuras pesquisas como redutor de redundância. Já está sendo estudado um esquema em que se trabalha com predição e quantização adaptativas, isso irá aumentar a eficiência do sistema. Tem-se a intenção de acrescentar ainda um ramo que forneça informação do ruído introduzido, esta deverá ser transmitida junto com o sinal quociente quantizado. Isso deverá melhorar significativamente a qualidade do sinal recuperado, e será feito quando se exigir qualidade muito elevada para a imagem no receptor. O sistema deverá ainda processar sinais compostos tanto do sistema PAL como do NTSC.

APENDICE A

PROGRAMAS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES DO SISTEMA QPCM

PROGRAMA UTILIZADO PARA SIMULAR O SISTEMA QPCM

[illegible]

V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	EEEE	O	O	C	O	O	D	D	EEEE	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				

QQQ	PPPP	CCCC	M	M
Q	Q	P	P	C
MM	MM			
Q	Q	P	P	C
M	M	M		
Q	Q	PPPP	C	
M				
Q	Q	Q	P	C
M				
Q	Q	P	C	
M				
QQ	Q	P	CCCC	M
				M

FFFFF	OOO	RRRR	;;	1	000	000
F	O O	R R	;;	11	0 0	0 0
F	O O	R R		1	0 00	0 00
FFFFF	O O	RRRR	;;	1	0 0 0	0 0 0
F	O O	R R	;;	1	00 0	00 0
.. F	O O	R R	;	1	0 0	0 0
.. F	OOO	R R	;	111	000	000

File \$1\$DUAL:[VIDEOCODEC.JBRICKHEIM]QPCM.FOR;100 (5989,260,0), last revised on JUN-1990 18:45, is a 23 block sequential file owned by UIC [FEE,VIDEOCODEC]. The records are variable length with implied (CR) carriage control. The longest record is 75 bytes.

FEE (170) queued to LASER on 5-DEC-1990 13:22 by user VIDEOCODEC, UIC [E,VIDEOCODEC], under account FEE at priority 100, started on printer UC1\$LPB0: on 5-DEC-1990 13:22 from queue LASER.

[illegible]

```

DIMENSION NAQ(630,4),NAQP(630,4),QNA(630,4),QNQ(630,4),
1 VAM(630,4),NXQ(630,4),IT(630,4),ITL(608),
2 NVQ(100),PQQ(100),HL(101),
3 NV1Q(100),NV2Q(100),NV3Q(100),NV4Q(100),
4 VQ1Q(101),VQ2Q(101),VQ3Q(101),VQ4Q(101)

REAL*16 QDL,DK,QDLQ,QNA,
1 PQQ,VQ,HT,QNQ,PQ

ENTRADA DOS NUMEROS DOS ARQUIVOS
DO NUM. DE LINHAS A SEREM PROCESSADAS (LQ)
E DOS VALORES DE A,B,C E BETA (PORC. PROBAB.)

NW=04
NRE=06
NX=15
NWE=07
NSW=01
LQ=512
QUANT=15
A=0.75
B=0.25
C=0.25

RELACOES INICIAIS
F1=8.0
F2=3.0
NL=256
NSS=1
NSL=1
FSC=3.57561149
VM=63.
NB=8
NBC=19
PI=3.141592654
WSC=2.*PI*FSC
FA=(F1/F2)*FSC
TH=(909./(4.*FSC))
TA=1./FA
TS2=0.125
M=(2**NB)-1
M1=(2** (NB+1))-1
M2=M+1
LAST=IFIX((FLOAT(NL)*TH)/TA)
NIL=1
NI=8
NAU=617
NAUL=630
TO=0.
FN=FLOAT((NL-1)*(NAU-NI+1))
FNA=FLOAT(NAU-NI+1)
SFN=SQRT(FN)
FNLA=(FN-1)/FNA
FL=((FLOAT(LQ)-2.)/2.)
SFNA=SQRT(FN-1.)
FN2=2.*FN

```

```

FNA2=2.*FNA
SFN2=(SQRT(2.))*SFN
FNLA2=(FN2-1.)/FNA2
FL2=2.*FL
SFNA2=SQRT(FN2-1.)
PASSO=1214./255.
CONDICOES INICIAIS
RQA=0.
RQXA=0.
RQPA=0.
SAMA=0.
ERSM=0.
ERSF=0.
SASM=0.
SASF=0.
RSNE=0.
RSNE180=0.
NT=0

```

```

INICIALIZACAO DAS VARIAVEIS DO COTADOR *****
DE NUM. VEZES DE CADA QUOTIENT

```

```

NVQ  - NUMERO DE VEZES QUE APARECE O VALOR QNQ A CADA 2 LINHAS
PQQ  - PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE QNQ EM 2 LINHAS
NVXQ - CONTADOR DE NVQ DENTRO DO SETOR X
VQXQ - VALOR DE QNQ(QNA QUANTIZADO) DENTRO DO SETOR X

```

```

DO 28 LX=1,100

```

```

NVQ(LX)=0
PQQ(LX)=0.
NV1Q(LX)=0
NV2Q(LX)=0
NV3Q(LX)=0
NV4Q(LX)=0
VQ1Q(LX)=0.
VQ2Q(LX)=0.
VQ3Q(LX)=0.
VQ4Q(LX)=0.
CONTINUE
VQ1Q(0)=1000.
VQ2Q(0)=1000.
VQ3Q(0)=1000.
VQ4Q(0)=1000.
IXQ=0
K1Q=0
K2Q=0
K3Q=0
K4Q=0
IPQ=0

```

```

RESET DOS VALORES INICIAIS

```

```

I1=0
JL=0
KL=0
J1=0
NLINHA=0

```

VALORES INICIAIS PARA A ENTRADA DO PREDITOR

DO 10 KI=1,4

DO 9 KL=1,630

NAQP(KL,KI)=IFIX(VM)

NXQ(KL,KI)=IFIX(VM)

CONTINUE

CONTINUE

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

DO 13 JR=1,4

INICIO=1

ULTIMO=32

DO 12 KR=1,NBC

READ(NRE,11)(IT(IO,JR),IO=INICIO,ULTIMO)

FORMAT(32I4)

INICIO=ULTIMO+1

ULTIMO=ULTIMO+32

CONTINUE

CONTINUE

DO 15 LR1=1,4

DO 14 LR2=1,608

NAQ(LR2+NI,LR1)=IT(LR2,LR1)

CONTINUE

CONTINUE

JL=4

J1=J1+1

SISTEMA QPCM ***** INICIO *****

DO 20 I1=NI,NAU

OBTENCAO DO SINAL QUOTIENT (X/x[^])

QNA(I1,J1)=FLOAT(NAQ(I1,J1))/FLOAT(NAQP(I1,J1))

SUBROTINA DO QUANTIZADOR(QUANTIZACAO)

QDL=QNA(I1,J1)

CALL QUANT15(QDL,QDLQ)

QNQ(I1,J1)=QDLQ

OBTENCAO DO VALOR DE ENTRADA DO PREDITOR (X RECUPERADO)

NXQ(I1,J1)=IQINT((QNQ(I1,J1)*QFLOAT(NAQP(I1,J1)))+0.5)

****ROTINA PARA TESTE. RETIRADA DOS VALORES DE QNA,QNQ,NXQ,NAQ,NAQP***
DE APENAS DUAS LINHAS(NESTE CASO LINHAS 199 E 200)

IF(JL-200)1005,1000,1005

00 IF(I1-8)1003,1001,1003

01 WRITE(50,910)A,B,C,NX,QUANT

WRITE(50,1002)JL,JL

02 FORMAT('O PRIMEIRO CONJ. DE DADOS CORRESPONDE A LINHA:',I3,

1 '-1, O SEGUNDO CONJ. DE DADOS CORRESP. A LINHA:',I3,/)

03 WRITE(50,1004)I1,QNA(I1,J1),I1,QNQ(I1,J1),I1,NXQ(I1,J1),

1 I1,NAQ(I1,J1),I1,NAQP(I1,J1)

04 FORMAT(1X,'QNA(',I3,')=',F15.11,3X,'QNQ(',I3,')=',F15.11,3X,

1 'NXQ(',I3,')=',I4,3X,'NAQ(',I3,')=',I3,3X,'NAQP(',I3,')=',I3)

ROTINA DO PREDITOR *****

```

5 NAQP(I1+1,J1)=A*(FLOAT(NXQ(I1,J1)))+B*(FLOAT(NXQ(I1+1,J1-2)))+
1 C*(FLOAT(NXQ(I1+2,J1-2)))

FIM ROTINA PREDICAO *****

SUBROTINA DO LIMITADOR DA SAIDA DO PREDITOR (1-255) ****
IVP=NAQP(I1+1,J1)
IF(IVP)6,6,7
IVPL=1
GO TO 19
IF(IVP-(2**NB-1))17,18,18
IVPL=IVP
GO TO 19
IVPL=(2**NB)-1
NAQP(I1+1,J1)=IVPL

CONTINUE
FIM DA ROTINA DO SISTEMA QPCM *****

ESCRITA DO ARQUIVO NWE SE NSW = 1 *****
Na~O ESCREVE SE NSW = 0 *****
IF(NSW)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

AS 2 PRIMEIRAS LINHAS SAO DESCONSIDERADAS NOS CALCULOS SEGUINTEs.
ESTA CONDICAO e' IMPOSTA PELO COMANDO IF ACIMA.
INICIALIZACAO DAS VARIAVEIS PARA CALCULO DOS PARAMETROS DE ANALISE.
Q=0.
HQ=0.
HT=0.
TR=0.
RQX=0.
SAM=0.
ERS=0.
SAS=0.

DO 30 J1=3,4
DO 29 I1=NI,NAU

CONTADOR NUMERO DE VEZES - NVXQ(LX) *****
QUE OCORRE UM QUOT. QUANT. EM 2 LINHAS *****

IXQ=IXQ+1
IF(QNQ(I1,J1)-2.0)129,129,130
IF(QNQ(I1,J1)-1.0)138,134,134

```

```

CONTANDO VALORES MAIORES QUE 2
K1Q=K1Q+1
VQ1Q(K1Q)=QNQ(I1,J1)
DO 133 I2Q=1,K1Q-1
IF(VQ1Q(K1Q)-VQ1Q(I2Q))133,132,131
A1Q=VQ1Q(K1Q)
VQ1Q(K1Q)=VQ1Q(I2Q)
VQ1Q(I2Q)=A1Q
N1Q=NV1Q(K1Q)
NV1Q(K1Q)=NV1Q(I2Q)
NV1Q(I2Q)=N1Q
GO TO 133
NV1Q(I2Q)=NV1Q(I2Q)+1
K1Q=K1Q-1
GO TO 147
CONTINUE
GO TO 147

```

```

CONTANDO VALORES ENTRE(INCLUSIVE) 1 E 2
K2Q=K2Q+1
VQ2Q(K2Q)=QNQ(I1,J1)
DO 137 I3Q=1,K2Q-1
IF(VQ2Q(K2Q)-VQ2Q(I3Q))137,136,135
A2Q=VQ2Q(K2Q)
VQ2Q(K2Q)=VQ2Q(I3Q)
VQ2Q(I3Q)=A2Q
N2Q=NV2Q(K2Q)
NV2Q(K2Q)=NV2Q(I3Q)
NV2Q(I3Q)=N2Q
GO TO 137
NV2Q(I3Q)=NV2Q(I3Q)+1
K2Q=K2Q-1
GO TO 147
CONTINUE
GO TO 147
IF(QNQ(I1,J1)-0.5)143,139,139

```

```

CONTANDO VALORES ENTRE 0.5 E 1(INCLUSIVE)
K3Q=K3Q+1
VQ3Q(K3Q)=QNQ(I1,J1)
DO 142 I4Q=1,K3Q-1
IF(VQ3Q(K3Q)-VQ3Q(I4Q))142,141,140
A3Q=VQ3Q(K3Q)
VQ3Q(K3Q)=VQ3Q(I4Q)
VQ3Q(I4Q)=A3Q
N3Q=NV3Q(K3Q)
NV3Q(K3Q)=NV3Q(I4Q)
NV3Q(I4Q)=N3Q
GO TO 142
NV3Q(I4Q)=NV3Q(I4Q)+1
K3Q=K3Q-1
GO TO 147
CONTINUE
GO TO 147

```

```

CONTANDO VALORES ENTRE (INCLUSIVE) 0 E 0.5
K4Q=K4Q+1

```

```

VQ4Q(K4Q)=QNQ(I1,J1)
DO 146 I5Q=1,K4Q-1
IF(VQ4Q(K4Q)-VQ4Q(I5Q))146,145,144
A4Q=VQ4Q(K4Q)
VQ4Q(K4Q)=VQ4Q(I5Q)
VQ4Q(I5Q)=A4Q
N4Q=NV4Q(K4Q)
NV4Q(K4Q)=NV4Q(I5Q)
NV4Q(I5Q)=N4Q
GO TO 146
NV4Q(I5Q)=NV4Q(I5Q)+1
K4Q=K4Q-1
GO TO 147
CONTINUE

```

TERMINO DA ROTINA DE CONTAGEM *****

```

RELACOES PARA O CALCULO DO ERRO QUADRATICO RQX ****
VLQ=(FLOAT(NAQ(I1,J1))-127.5)*PASSO+307.
VXQ=(FLOAT(NXQ(I1,J1))-127.5)*PASSO+307.
RQX=(VLQ-VXQ)**2.+RQX
SAM=VLQ**2.+SAM

```

```

RELACOES PARA CALCULO EXPERIMENTAL DA
RELACAO S/N EM DUAS LINHAS - ERS
ERX=FLOAT(NXQ(I1,J1))
SNA=FLOAT(NAQ(I1,J1))
ERN=(SNA-ERX)
ERS=ERN**2+ERS
SAS=SNA**2+SAS

```

```

CONTINUE
CONTINUE

```

```

CALCULO DAS RELACOES NAS LINHAS(EM 2 LINHAS)
RQXA=(RQX/FNA2)+RQXA
SAMA=(SAM/FNA2)+SAMA

```

CALCULO DAS RELACOES EXPERIMENTAIS NAS LINHAS

```

ERSM=(ERS/FNA2)+ERSM
SASM=(SAS/FNA2)+SASM

```

```

TESTE PARA ENCERAR PROCESSAMENTO QUANDO JL=512
LQ e' O NUMERO DE LINHAS A SEREM PROCESSADAS
IF(JL-LQ)35,46,46

```

```

VOLTA J1 PARA 2 E SOMA 2 A JL A CADA LOOP DE 2 LINHAS
J1=2
JL=JL+2

```

GUARDA AS 2 ULTIMAS LINHAS PROCESSADAS DOS ARQUIVOS
QUE SERAO UTILIZADAS NO PROCESSAMENTO DAS SEGUINTE

```

DO 38 J3=1,2
J4=J3+2
DO 37 I7=NIL,NAUL

```

```

NAQ(I7,J3)=NAQ(I7,J4)
NAQP(I7,J3)=NAQP(I7,J4)
QNA(I7,J3)=QNA(I7,J4)
QNQ(I7,J3)=QNQ(I7,J4)
NXQ(I7,J3)=NXQ(I7,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)
CONTINUE
CONTINUE
GO TO 16

```

```

ENCERRAMENTO DO PROCESSAMENTO DAS 512 LINHAS
ESTA CONDICAO E' DADA PELO PRIMEIRO IF ACIMA
***** A ROTINA PRINCIPAL SO ULTRAPASSA
ESTE PONTO QDO JL=512 *****
A PARTIR DESTA PONTO SAO CALCULADOS OS PARAM/
FINAIS;PARA TODO O QUADRO (PARA OS 2 CAMPOS).

```

```

INICIO DA ROTINA DE CALCULO DA ENTROPIA *****

```

```

ORDENACAO GERAL DOS QUOCIENTES QUANTIZADOS QUE ESTAO
PRESENTES DENTRO DO QUADRO , EM ORDEM DECRESCENTE

```

```

NO ARQUIVO 51 SERAO ESCRITOS OS VALORES DOS NIVEIS
QUANTIZADOS E SEUS RESPECTIVOS NUMEROS DE OCORRENCIA
NO QUADRO(DADOS DE IDENTIFICACAO NA PRIMEIRA LINHA).
WRITE(51,910)A,B,C,NX,QUANT
FORMAT(9X,'A=',F7.4,5X,'B=',F7.4,5X,'C=',F7.4,5X,'NX=',I2,5X,
1 'QUANT=',F4.1,/)

```

```

DO 71 I8Q=1,K1Q
NVQ(I8Q)=NV1Q(I8Q)+1
WRITE(51,2000)I8Q,VQ1Q(I8Q),I8Q,NVQ(I8Q)
FORMAT(9X,'VQ1Q(',I3,')=',F11.7,9X,'NVQ(',I3,')=',I6)
NT=NVQ(I8Q)+NT
CONTINUE
DO 148 I9Q=1,K2Q
IPQ=K1Q+I9Q
NVQ(IPQ)=NV2Q(I9Q)+1

```

```

01 WRITE(51,2001)I9Q,VQ2Q(I9Q),IPQ,NVQ(IPQ)
   FORMAT(9X,'VQ2Q(',I3,')=' ,F11.7,9X,'NVQ(',I3,')=' ,I6)
   NT=NVQ(IPQ)+NT
48 CONTINUE
   DO 149 I10Q=1,K3Q
   IPQ=K1Q+K2Q+I10Q
   NVQ(IPQ)=NV3Q(I10Q)+1
   WRITE(51,2002)I10Q,VQ3Q(I10Q),IPQ,NVQ(IPQ)
02   FORMAT(9X,'VQ3Q(',I3,')=' ,F11.7,9X,'NVQ(',I3,')=' ,I6)
   NT=NVQ(IPQ)+NT
   CONTINUE
   DO 150 I11Q=1,K4Q
   IPQ=K1Q+K2Q+K3Q+I11Q
   NVQ(IPQ)=NV4Q(I11Q)+1
   WRITE(51,2003)I11Q,VQ4Q(I11Q),IPQ,NVQ(IPQ)
03   FORMAT(9X,'VQ4Q(',I3,')=' ,F11.7,9X,'NVQ(',I3,')=' ,I6)
   NT=NVQ(IPQ)+NT
   CONTINUE
   WRITE(51,2004)NT
04   FORMAT(/,34X,'SOMA DOS NVQ =' ,I6)
   KTQ=K1Q+K2Q+K3Q+K4Q

```

```

CALCULO DAS PROBABILIDADES DE OCORRENCIA DE CADA
QUOCIENTE QUANTIZADO DENTRO DO QUADRO
DO 21 L9=1,KTQ
PQQ(L9)=FLOAT(NVQ(L9))/(FNA2*FL)
CONTINUE

```

```

CALCULO DA ENTROPIA DO QUOCIENTE QUANTIZADO
DO 65 L3Q=1,KTQ
PQ=PQQ(L3Q)
IF(PQ)60,58,60
HT=HT
GO TO 65
HT=HT+(PQ*1.44269504*QLOG(1/PQ))
CONTINUE

```

TERMINO DA ROTINA DE CALCULO DAS ENTROPIAS *****

```

CALCULO DA RELACAO SINAL/RUIDO BASEADO NO
ERRO QUADRATICO MEDIO
RQXM=RQXA/FL
SMM=SAMA/FL

```

```

IF(RQXM)55,56,54
SNQX=10.*ALOG10(SMM/RQXM)
GO TO 53
SNQX=-1000.
GO TO 53
SNQX=1000.

```

```

IF(RQXM)550,560,540
SNQX700=10.*ALOG10((700)**2/RQXM)
GO TO 57
SNQX700=-1000.
GO TO 57
SNQX700=1000.

```

CALCULO EXPERIMENTAL DA RELACAO SINAL/RUIDO - RSNE

ERSF=ERSM/FL

SASF=SASM/FL

IF(ERSF)105,106,104

RSNE=10.*ALOG10(SASF/ERSF)

GO TO 107

RSNE=-1000.

GO TO 107

RSNE=1000.

IF(ERSF)1050,1060,1040

RSNE180=10.*ALOG10(180**2/ERSF)

GO TO 108

RSNE180=-1000.

GO TO 108

RSNE180=1000.

CALCULO DA TAXA DE BITS "TR"(TRANSMISSION RATE)

TR=HT*FA

ESCRITA DOS PARAMETROS DE ANALISE DE

DESEMPENHO NO ARQUIVO NW

WRITE(NW,89)

FORMAT(/,9X,'SNQX',15X,'SNQX700',13X,'RSNE',12X,'QUANT',11X,'HQQ')

WRITE(NW,92)SNQX,SNQX700,RSNE,QUANT,HT

FORMAT(9X,F7.4,12X,F7.4,11X,F7.4,11X,F4.1,11X,F7.4)

WRITE(NW,90)

FORMAT(/,9X,'RSNE',15X,'RSNE180',15X,'HQQ')

WRITE(NW,91)RSNE,RSNE180,HT

FORMAT(9X,F7.4,11X,F9.4,11X,F7.4)

WRITE(NW,93)

FORMAT(/,9X,'A',14X,'B',14X,'C',14X,'A',14X,'B',14X,
1 'C',14X,'RMD',12X,'RMQ')

WRITE(NW,94)A,B,C,A,B,C,RMD,RMQ

FORMAT(10(8X,F7.4))

WRITE(NW,95)

FORMAT(/,9X,'LQ',4X,'KTQ',8X,'RD',10X,'TR')

WRITE(NW,96)LQ,KTQ,RD,TR

FORMAT(9X,I3,3X,I3,4X,F10.4,3X,F10.4)

WRITE(NW,100)

FORMAT(/,9X,'NX',7X,'IZ0',3X,'IZ1',3X,'IZ2',3X,'IZ3',6X,
2 'NY',2X,'NBIT',1X,'MBIT',1X,'KBIT')

WRITE(NW,101)NX,IZ0,IZ1,IZ2,IZ3,NY,NBIT,MBIT,KBIT

FORMAT(9X,I2,5X,4(I4,2X),6X,4(I1,4X))

END

SUBROTINA DO QUANT1

SUBROTINA DO QUANTIZADOR DO SISTEMA QPCM

SUBROUTINE QUANTQPCM15_1(QDL,QDLQ)

REAL*16 QDL,DK,QDLQ

DK1=0.94722215
DK2=0.969223495
DK3=0.97769361
DK4=0.985177845
DK5=0.9877536
DK6=0.995
DK7=0.98246353
DK8=0.970368735
DK9=0.972948425
DK10=0.96992313
DK11=0.955381
DK12=0.9641023
DK13=0.9677083
DK14=0.9588775
DK15=0.952753
DK16=0.953835
DK17=0.95119045
DK18=0.908545465
DK19=0.930952359
DK20=0.938446965
DK21=0.941919165
DK22=0.935416659
DK23=0.919871764
DK24=0.925824164
DK25=0.912878765
DK26=0.825
DK27=0.881944435
DK28=0.898444435
DK29=0.8625
DK30=0.725
DK31=0.775
DK32=0.65
DK33=1.05689565
DK34=1.030536114
DK35=1.021441215
DK36=1.01371268
DK37=1.00975
DK38=1.0035
DK39=1.016083355
DK40=1.029631245
DK41=1.027526435
DK42=1.03007685
DK43=1.037511644
DK44=1.031754
DK45=1.031009614
DK46=1.033370359
DK47=1.050125355
DK48=1.044079835
DK49=1.054093555
DK50=1.072765

```

DK51=1.0650795
DK52=1.061553
DK53=1.05971479
DK54=1.062996
DK55=1.069575
DK56=1.0678185
DK57=1.070805
DK58=1.1025
DK59=1.0785
DK60=1.07555
DK61=1.09
DK62=1.1625
DK63=1.115
DK64=1.225
IF(QDL-1.)2,1,7
QDLQ=1.
GO TO 140
IF(QDL-0.6)3,4,13
IF(QDL-0.25)6,6,5
QDLQ=0.6
GO TO 140
QDLQ=0.5
GO TO 140
QDLQ=0.
GO TO 140
IF(QDL-8.)9,9,8
QDLQ=15.
GO TO 140
IF(QDL-1.75)10,11,11
IF(QDL-1.25)76,139,12
QDLQ=2.0
GO TO 140
QDLQ=1.5
GO TO 140
IF(QDL-DK1)46,14,15
QDLQ=0.9499999
GO TO 140
IF(QDL-DK2)32,16,17
QDLQ=0.96969699
GO TO 140
IF(QDL-DK3)26,18,19
QDLQ=0.98007857
GO TO 140
IF(QDL-DK4)24,20,21
QDLQ=0.9855072
GO TO 140
IF(QDL-DK5)20,22,23
QDLQ=0.99
GO TO 140
IF(QDL-DK6)22,1,1
IF(QDL-DK7)18,25,25
QDLQ=0.98484849
GO TO 140
IF(QDL-DK8)30,27,28
QDLQ=0.9705882
GO TO 140
IF(QDL-DK9)27,29,29

```

QDLQ=0.97530865
GO TO 140
IF(QDL-DK10)16,31,31
QDLQ=0.97014927
GO TO 140
IF(QDL-DK11)40,33,34
QDLQ=0.956217
GO TO 140
IF(QDL-DK12)38,35,36
QDLQ=0.9666666
GO TO 140
IF(QDL-DK13)35,37,37
QDLQ=0.96875
GO TO 140
IF(QDL-DK14)33,39,39
QDLQ=0.961538
GO TO 140
IF(QDL-DK15)44,41,42
QDLQ=0.953125
GO TO 140
IF(QDL-DK16)41,43,43
QDLQ=0.954545
GO TO 140
IF(QDL-DK17)14,45,45
QDLQ=0.952381
GO TO 140
IF(QDL-DK18)62,47,48
QDLQ=0.90909093
GO TO 140
IF(QDL-DK19)56,49,50
QDLQ=0.933333318
GO TO 140
IF(QDL-DK20)54,51,52
QDLQ=0.93939393
GO TO 140
IF(QDL-DK21)51,53,53
QDLQ=0.9444444
GO TO 140
IF(QDL-DK22)49,55,55
QDLQ=0.9375
GO TO 140
IF(QDL-DK23)60,57,58
QDLQ=0.923076927
GO TO 140
IF(QDL-DK24)57,59,59
QDLQ=0.9285714
GO TO 140
IF(QDL-DK25)47,61,61
QDLQ=0.9166666
GO TO 140
IF(QDL-DK26)70,63,64
QDLQ=0.85
GO TO 140
IF(QDL-DK27)68,65,66
QDLQ=0.88888887
GO TO 140
IF(QDL-DK28)65,67,67

QDLQ=0.908
GO TO 140
IF(QDL-DK29)63,69,69
QDLQ=0.875
GO TO 140
IF(QDL-DK30)74,71,72
QDLQ=0.75
GO TO 140
IF(QDL-DK31)71,73,73
QDLQ=0.8
GO TO 140
IF(QDL-DK32)4,75,75
QDLQ=0.70
GO TO 140
IF(QDL-DK33)78,77,109
QDLQ=1.0555555
GO TO 140
IF(QDL-DK34)80,79,95
QDLQ=1.030303
GO TO 140
IF(QDL-DK35)82,81,89
QDLQ=1.01724135
GO TO 140
IF(QDL-DK36)84,83,87
QDLQ=1.0125
GO TO 140
IF(QDL-DK37)86,85,83
QDLQ=1.007
GO TO 140
IF(QDL-DK38)1,1,85
IF(QDL-DK39)88,88,81
QDLQ=1.01492536
GO TO 140
IF(QDL-DK40)91,90,93
QDLQ=1.02941179
GO TO 140
IF(QDL-DK41)92,92,90
QDLQ=1.02564108
GO TO 140
IF(QDL-DK42)94,94,79
QDLQ=1.0298507
GO TO 140
IF(QDL-DK43)97,96,103
QDLQ=1.034482717
GO TO 140
IF(QDL-DK44)99,98,101
QDLQ=1.03125
GO TO 140
IF(QDL-DK45)100,100,98
QDLQ=1.030769228
GO TO 140
IF(QDL-DK46)102,102,96
QDLQ=1.032258
GO TO 140
IF(QDL-DK47)105,104,107
QDLQ=1.0476191
GO TO 140

IF(QDL-DK48)106,106,104
QDLQ=1.04054057
GO TO 140
IF(QDL-DK49)108,108,77
QDLQ=1.05263161
GO TO 140
IF(QDL-DK50)111,110,125
QDLQ=1.07143
GO TO 140
IF(QDL-DK51)113,112,119
QDLQ=1.063492
GO TO 140
IF(QDL-DK52)115,114,117
QDLQ=1.060606
GO TO 140
IF(QDL-DK53)116,116,114
QDLQ=1.05882358
GO TO 140
IF(QDL-DK54)118,118,112
QDLQ=1.0625
GO TO 140
IF(QDL-DK55)121,120,123
QDLQ=1.06897
GO TO 140
IF(QDL-DK56)122,122,120
QDLQ=1.066667
GO TO 140
IF(QDL-DK57)124,124,110
QDLQ=1.07018
GO TO 140
IF(QDL-DK58)127,126,133
QDLQ=1.1
GO TO 140
IF(QDL-DK59)129,128,131
QDLQ=1.077
GO TO 140
IF(QDL-DK60)130,130,128
QDLQ=1.0741
GO TO 140
IF(QDL-DK61)132,132,126
QDLQ=1.08
GO TO 140
IF(QDL-DK62)135,134,137
QDLQ=1.125
GO TO 140
IF(QDL-DK63)136,136,134
QDLQ=1.105
GO TO 140
IF(QDL-DK64)138,138,139
QDLQ=1.2
GO TO 140
QDLQ=1.25
RETURN
END

SUBROTINA DO QUANTIZADOR DE 21 NÍVEIS

[illegible]

V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	EEEE	O	O	C	O	O	D	D	EEEE	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				

	FFFFF	OOO	RRRR	;;	1
	F	O O	R R	;;	11
	F	O O	R R		1
	FFFF	O O	RRRR	;;	1
	F	O O	R R	;;	1
..	F	O O	R R	;	1
..	F	OOO	R R	;	111

FEE (82) queued to LASER on 5-DEC-1990 11:14 by user VIDEOCODEC, UIC [VIDEOCODEC], under account FEE at priority 100, started on printer UC1\$LPB0: on 5-DEC-1990 11:19 from queue LASER.

SUBROTINA 2 DO QUANTIZADOR DO SISTEMA QPCM
PARA A IMAGEM 15 COM A=0.75 B=C=0.25

SUBROUTINE QUANTQPCM15_2(QDL,QDLQ)

REAL*16 QDL,DK,OL,QDLQ

OUT LEVEL - OL -(NIVEIS DE SAIDA)

OL1=0.8
OL2=0.788235
OL3=0.809524
OL4=0.777778
OL5=0.816
OL6=0.769231
OL7=0.8224
OL8=0.76471
OL9=0.833333
OL10=0.76
OL11=0.846154
OL12=0.75
OL13=0.857143
OL14=0.725
OL15=0.9
OL16=0.7
OL17=1.0
OL18=0.5
OL19=3.0
OL20=0
OL21=15

NIVEIS DE DECISAO - DK

DK1=0.7625
DK2=0.784
DK3=0.794
DK4=0.774
DK5=0.7675
DK6=0.72
DK7=0.77
DK8=0.735
DK9=0.6
DK10=0.25
DK11=0.84
DK12=0.8125
DK13=0.80635
DK14=0.821
DK15=0.828
DK16=0.875
DK17=0.8506
DK18=1.75
DK19=0.925
DK20=8

INICIO DA QUANTIZACAO

IF(QDL-OL1)2,1,22
QDLQ=OL1
GO TO 42

```

IF(QDL-DK1)12,3,4
QDLQ=OL10
GO TO 42
IF(QDL-DK2)8,5,6
QDLQ=OL4
GO TO 42
IF(QDL-DK3)7,7,1
QDLQ=OL2
GO TO 42
IF(QDL-DK4)10,9,5
QDLQ=OL6
GO TO 42
IF(QDL-DK5)11,11,9
QDLQ=OL8
GO TO 42
IF(QDL-DK6)18,13,14
QDLQ=OL16
GO TO 42
IF(QDL-DK7)16,15,3
QDLQ=OL12
GO TO 42
IF(QDL-DK8)17,17,15
QDLQ=OL14
GO TO 42
IF(QDL-DK9)20,19,13
QDLQ=OL18
GO TO 42
IF(QDL-DK10)21,21,19
QDLQ=OL20
GO TO 42
IF(QDL-DK11)24,23,32
QDLQ=OL11
GO TO 42
IF(QDL-DK12)26,25,28
QDLQ=OL5
GO TO 42
IF(QDL-DK13)1,27,27
QDLQ=OL3
GO TO 42
IF(QDL-DK14)25,29,30
QDLQ=OL7
GO TO 42
IF(QDL-DK15)29,31,31
QDLQ=OL9
GO TO 42
IF(QDL-DK16)34,33,36
QDLQ=OL15
GO TO 42
IF(QDL-DK17)23,35,35
QDLQ=OL13
GO TO 42
IF(QDL-DK18)38,37,39
QDLQ=OL17
GO TO 42
IF(QDL-DK19)33,37,37
IF(QDL-DK20)40,41,41
QDLQ=OL19

```

GO TO 42
QDLQ=OL21
RETURN
END

SUBROTINA DO QUANT15

V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	EEEE	O	O	C	O	O	D	D	EEEE	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	I	D	D	E	O	O	C	O	O	D	D	E	C
V	V	III	DDDD	EEEE	OOO	CCCC	OOO	DDDD	EEEE	CCCC				

QQQ	U	U	AAA	N	N	TTTT	1	55555			
Q	Q	U	U	A	A	N	N	T	11	5	
Q	Q	U	U	A	A	NN	N	T	1	555	
Q	Q	U	U	A	A	N	N	N	T	1	5
Q	Q	Q	U	U	AAAAA	N	NN	T	1	5	
Q	Q	U	U	A	A	N	N	T	1	5	5
QQ	Q	UUUUU	A	A	N	N	T	111	555		

	FFFFF	000	RRRR	;;	1	666
	F	O O	R R	;;	11	6
	F	O O	R R		1	6
	FFFF	O O	RRRR	;;	1	6666
	F	O O	R R	;;	1	6 6
..	F	O O	R R	;	1	6 6
..	F	000	R R	;	111	666

```
e_$1$DUAL:[VIDEOCODEC.JBRICKHEIM]QUANT15.FOR;16 (1824,95,0), last revised
18-MAY-1990 12:08, is a 13 block sequential file owned by UIC
E,VIDEOCODEC]. The records are variable length with implied (CR) carriage
control. The longest record is 38 bytes.
```

FEE (52) queued to LASER on 5-DEC-1990 11:06 by user VIDEOCODEC, UIC [FEE,VIDEOCODEC], under account FEE at priority 100, started on printer UC1\$LPB0: on 5-DEC-1990 11:11 from queue LASER.

QUANTIZADOR PADRAO DO O SISTEMA QPCM

Subroutine QUANT15(QDL,QDLQ)

REAL*16 QDL,QDLQ

A=0.75 B=0.25 C=0.25 NX=15

OUTLEVEL - OL(NIVEL DE SAIDA)

OL1=0.8

OL2=0.7882

FOI RETIRADO OL3 POIS EXISTEM
APENAS 70 NIVEIS DE SAIDA E NAO
71(COLOCADO POR ENGANO INICIAL)

OL4=0.7778

OL5=0.8095

OL6=0.7692

OL7=0.816

OL8=0.76

OL9=0.8333

OL10=0.75

OL11=0.8571

OL12=0.7419

OL13=0.875

OL14=0.7333

OL15=0.9

OL16=0.7143

OL17=0.904

OL18=0.71

OL19=0.909

OL20=0.705

OL21=0.915

OL22=0.7

OL23=0.925

OL24=0.695

OL25=0.94

OL26=0.69

OL27=0.96

OL28=0.68

OL29=0.98

OL30=0.6666

OL31=1.0

OL32=0.66

OL33=1.007

OL34=0.65

OL35=1.015

OL36=0.64

OL37=1.03

OL38=0.63

OL39=1.045

OL40=0.62

OL41=1.06

OL42=0.61

OL43=1.08

OL44=0.6

OL45=1.1
OL46=0.58
OL47=1.11
OL48=0.56
OL49=1.12
OL50=0.54
OL51=1.15
OL52=0.52
OL53=1.2
OL54=0.5
OL55=1.25
OL56=0.45
OL57=1.3
OL58=0.4
OL59=1.4
OL60=0.35
OL61=1.5
OL62=0.3
OL63=1.7
OL64=0.2
OL65=1.9
OL66=0.15
OL67=2
OL68=0.1
OL69=5
OL70=0
OL71=15

NIVEL DE DECISAO - DK

DK1=0.6452
DK2=0.7123
DK3=0.765
DK4=0.7835
DK5=0.794
DK6=0.7737
DK7=0.746
DK8=0.7555
DK9=0.738
DK10=0.727
DK11=0.6927
DK12=0.7027
DK13=0.7077
DK14=0.6977
DK15=0.6751
DK16=0.6852
DK17=0.6635
DK18=0.6552
DK19=0.511
DK20=0.6052
DK21=0.6252
DK22=0.6352
DK23=0.6152
DK24=0.571
DK25=0.591
DK26=0.551
DK27=0.531
DK28=0.327

DK29=0.427
DK30=0.477
DK31=0.377
DK32=0.177
DK33=0.255
DK34=0.127
DK35=0.055
DK36=1.0235
DK37=0.9067
DK38=0.8255
DK39=0.8052
FOI RETIRADO DK40
DK41=0.813
DK42=0.867
DK43=0.8463
DK44=0.889
DK45=0.9022
DK46=0.951
DK47=0.9205
DK48=0.9122
DK49=0.9335
DK50=0.991
DK51=0.971
DK52=1.0038
DK53=1.0112
DK54=1.228
DK55=1.091
DK56=1.0535
DK57=1.0385
DK58=1.071
DK59=1.1155
DK60=1.1055
DK61=1.137
DK62=1.178
DK63=1.61
DK64=1.355
DK65=1.278
DK66=1.455
DK67=1.95
DK68=1.81
DK69=3.5
DK70=8

INICIO DA QUANTIZACAO
IF(QDL-OL1)2,1,72
QDLQ=OL1
GO TO 142
IF(QDL-DK1)37,3,4
QDLQ=OL34
GO TO 142
IF(QDL-DK2)21,5,6
QDLQ=OL16
GO TO 142
IF(QDL-DK3)13,7,8
QDLQ=OL6
GO TO 142
IF(QDL-DK4)11,9,10

QDLQ=OL2
GO TO 142
IF(QDL-DK5)9,1,1
IF(QDL-DK6)7,12,12
QDLQ=OL4
GO TO 142
IF(QDL-DK7)17,14,15
QDLQ=OL10
GO TO 142
IF(QDL-DK8)14,16,16
QDLQ=OL8
GO TO 142
IF(QDL-DK9)19,18,18
QDLQ=OL12
GO TO 142
IF(QDL-DK10)5,20,20
QDLQ=OL14
GO TO 142
IF(QDL-DK11)29,22,23
QDLQ=OL24
GO TO 142
IF(QDL-DK12)27,24,25
QDLQ=OL20
GO TO 142
IF(QDL-DK13)24,26,26
QDLQ=OL18
GO TO 142
IF(QDL-DK14)22,28,28
QDLQ=OL22
GO TO 142
IF(QDL-DK15)33,30,31
QDLQ=OL28
GO TO 142
IF(QDL-DK16)30,32,32
QDLQ=OL26
GO TO 142
IF(QDL-DK17)35,34,34
QDLQ=OL30
GO TO 142
IF(QDL-DK18)3,36,36
QDLQ=OL32
GO TO 142
IF(QDL-DK19)55,38,39
QDLQ=OL52
GO TO 142
IF(QDL-DK20)47,40,41
QDLQ=OL42
GO TO 142
IF(QDL-DK21)45,42,43
QDLQ=OL38
GO TO 142
IF(QDL-DK22)42,44,44
QDLQ=OL36
GO TO 142
IF(QDL-DK23)40,46,46
QDLQ=OL40
GO TO 142

IF(QDL-DK24)51,48,49
QDLQ=OL46
GO TO 142
IF(QDL-DK25)48,50,50
QDLQ=OL44
GO TO 142
IF(QDL-DK26)53,52,52
QDLQ=OL48
GO TO 142
IF(QDL-DK27)38,54,54
QDLQ=OL50
GO TO 142
IF(QDL-DK28)63,56,57
QDLQ=OL60
GO TO 142
IF(QDL-DK29)61,58,59
QDLQ=OL56
GO TO 142
IF(QDL-DK30)58,60,60
QDLQ=OL54
GO TO 142
IF(QDL-DK31)56,62,62
QDLQ=OL58
GO TO 142
IF(QDL-DK32)67,64,65
QDLQ=OL64
GO TO 142
IF(QDL-DK33)64,66,66
QDLQ=OL62
GO TO 142
IF(QDL-DK34)69,68,68
QDLQ=OL66
GO TO 142
IF(QDL-DK35)71,70,70
QDLQ=OL68
GO TO 142
QDLQ=OL70
GO TO 142
IF(QDL-DK36)74,73,107
QDLQ=OL35
GO TO 142
IF(QDL-DK37)76,75,91
QDLQ=OL17
GO TO 142
IF(QDL-DK38)78,77,83
QDLQ=OL7
GO TO 142
IF(QDL-DK39)1,1,81

FORAM RETIRADAS TRES LINHAS NESTE
LOCAL DEVIDO A UM ERRO INICIAL QUE
COLOCAVA 71 NIVEIS DE SAIDA.
FOI RETIRADO UM NIVEL DE DECISAO.

IF(QDL-DK41)82,82,77
QDLQ=OL5
GO TO 142

IF(QDL-DK42)85,84,87
QDLQ=OL11
GO TO 142
IF(QDL-DK43)86,86,84
QDLQ=OL9
GO TO 142
IF(QDL-DK44)88,88,89
QDLQ=OL13
GO TO 142
IF(QDL-DK45)90,90,75
QDLQ=OL15
GO TO 142
IF(QDL-DK46)93,92,99
QDLQ=OL25
GO TO 142
IF(QDL-DK47)95,94,97
QDLQ=OL21
GO TO 142
IF(QDL-DK48)96,96,94
QDLQ=OL19
GO TO 142
IF(QDL-DK49)98,98,92
QDLQ=OL23
GO TO 142
IF(QDL-DK50)101,100,103
QDLQ=OL29
GO TO 142
IF(QDL-DK51)102,102,100
QDLQ=OL27
GO TO 142
IF(QDL-DK52)104,104,105
QDLQ=OL31
GO TO 142
IF(QDL-DK53)106,106,73
QDLQ=OL33
GO TO 142
IF(QDL-DK54)109,108,125
QDLQ=OL53
GO TO 142
IF(QDL-DK55)111,110,117
QDLQ=OL43
GO TO 142
IF(QDL-DK56)113,112,115
QDLQ=OL39
GO TO 142
IF(QDL-DK57)114,114,112
QDLQ=OL37
GO TO 142
IF(QDL-DK58)116,116,110
QDLQ=OL41
GO TO 142
IF(QDL-DK59)119,118,121
QDLQ=OL47
GO TO 142
IF(QDL-DK60)120,120,118
QDLQ=OL45
GO TO 142

1 IF(QDL-DK61)122,122,123
2 QDLQ=OL49
GO TO 142
3 IF(QDL-DK62)124,124,108
4 QDLQ=OL51
GO TO 142
5 IF(QDL-DK63)127,126,133
6 QDLQ=OL61
GO TO 142
7 IF(QDL-DK64)129,128,131
8 QDLQ=OL57
GO TO 142
9 IF(QDL-DK65)130,130,128
0 QDLQ=OL55
GO TO 142
1 IF(QDL-DK66)132,132,126
2 QDLQ=OL59
GO TO 142
3 IF(QDL-DK67)135,134,137
4 QDLQ=OL65
GO TO 142
5 IF(QDL-DK68)136,136,134
6 QDLQ=OL63
GO TO 142
7 IF(QDL-DK69)138,138,139
8 QDLQ=OL67
GO TO 142
9 IF(QDL-DK70)140,140,141
0 QDLQ=OL69
GO TO 142
1 QDLQ=OL71
2 RETURN
3 END

SUBROTINA DO QUANT04

QUANTIZADOR PADRAO DO SISTEMA QPCM

Subroutine QUANT04(QDL,QDLQ)

REAL*16 QDL,QDLQ

A=0.5 B=0.25 C=0.25 NX=04

OUTLEVEL - OL(NIVEL DE SAIDA)

OL1=1.0

OL2=0.988

FOI RETIRADO OL3 POIS EXISTEM

APENAS 70 NIVEIS DE SAIDA E NAO

71(COLOCADO POR ENGANO INICIAL)

OL4=0.984

OL5=1.015

OL6=0.9815

OL7=1.0185

OL8=0.98

OL9=1.02128

OL10=0.9787

OL11=1.02274

OL12=0.9778

OL13=1.0303

OL14=0.975

OL15=1.03775

OL16=0.9714

OL17=1.04

OL18=0.967

OL19=1.0435

OL20=0.9643

OL21=1.04545

OL22=0.9623

OL23=1.0476

OL24=0.9584

OL25=1.05

OL26=0.9546

OL27=1.0527

OL28=0.95

OL29=1.0556

OL30=0.9444

OL31=1.0588

OL32=0.9376

OL33=1.0625

OL34=0.9286

OL35=1.0667

OL36=0.923

OL37=1.0714

OL38=0.9168

OL39=1.0769

OL40=0.909

OL41=1.0834

OL42=0.9

OL43=1.091

OL44=0.89

OL45=1.1
OL46=0.88
OL47=1.11
OL48=0.86
OL49=1.125
OL50=0.832
OL51=1.143
OL52=0.815
OL53=1.165
OL54=0.8
OL55=1.2
OL56=0.79
OL57=1.225
OL58=0.775
OL59=1.25
OL60=0.75
OL61=1.35
OL62=0.675
OL63=1.5
OL64=0.6
OL65=1.7
OL66=0.5
OL67=2.0
OL68=0.25
OL69=4.5
OL70=0.0
OL71=15

NIVEL DE DECISAO - DK

DK1=0.926
DK2=0.9694
DK3=0.9808
DK4=0.9862
DK5=0.99
DK6=0.9829
DK7=0.9783
DK8=0.9794
DK9=0.9765
DK10=0.9733
DK11=0.9567
DK12=0.9634
DK13=0.9658
DK14=0.9605
DK15=0.9474
DK16=0.9526
DK17=0.9414
DK18=0.9334
DK19=0.808
DK20=0.8956
DK21=0.9135
DK22=0.9205
DK23=0.905
DK24=0.871
DK25=0.8855
DK26=0.847
DK27=0.824
DK28=0.715

DK29=0.783
DK30=0.7955
DK31=0.764
DK32=0.555
DK33=0.64
DK34=0.39
DK35=0.14
DK36=1.0692
DK37=1.0419
DK38=1.0201
DK39=1.0128
FOI RETIRADO DK40
DK41=1.0169
DK42=1.027
DK43=1.0221
DK44=1.035
DK45=1.039
DK46=1.0515
DK47=1.0466
DK48=1.04455
DK49=1.0489
DK50=1.0573
DK51=1.0543
DK52=1.0608
DK53=1.0647
DK54=1.184
DK55=1.096
DK56=1.081
DK57=1.0744
DK58=1.088
DK59=1.118
DK60=1.1055
DK61=1.1345
DK62=1.155
DK63=1.43
DK64=1.239
DK65=1.214
DK66=1.305
DK67=1.86
DK68=1.61
DK69=3.4
DK70=7.0

INICIO DA QUANTIZACAO
IF(QDL-OL1)2,1,72
QDLQ=OL1
GO TO 142
IF(QDL-DK1)37,3,4
QDLQ=OL34
GO TO 142
IF(QDL-DK2)21,5,6
QDLQ=OL16
GO TO 142
IF(QDL-DK3)13,7,8
QDLQ=OL6
GO TO 142
IF(QDL-DK4)11,9,10

QDLQ=OL2
GO TO 142
IF(QDL-DK5)9,1,1
IF(QDL-DK6)7,12,12
QDLQ=OL4
GO TO 142
IF(QDL-DK7)17,14,15
QDLQ=OL10
GO TO 142
IF(QDL-DK8)14,16,16
QDLQ=OL8
GO TO 142
IF(QDL-DK9)19,18,18
QDLQ=OL12
GO TO 142
IF(QDL-DK10)5,20,20
QDLQ=OL14
GO TO 142
IF(QDL-DK11)29,22,23
QDLQ=OL24
GO TO 142
IF(QDL-DK12)27,24,25
QDLQ=OL20
GO TO 142
IF(QDL-DK13)24,26,26
QDLQ=OL18
GO TO 142
IF(QDL-DK14)22,28,28
QDLQ=OL22
GO TO 142
IF(QDL-DK15)33,30,31
QDLQ=OL28
GO TO 142
IF(QDL-DK16)30,32,32
QDLQ=OL26
GO TO 142
IF(QDL-DK17)35,34,34
QDLQ=OL30
GO TO 142
IF(QDL-DK18)3,36,36
QDLQ=OL32
GO TO 142
IF(QDL-DK19)55,38,39
QDLQ=OL52
GO TO 142
IF(QDL-DK20)47,40,41
QDLQ=OL42
GO TO 142
IF(QDL-DK21)45,42,43
QDLQ=OL38
GO TO 142
IF(QDL-DK22)42,44,44
QDLQ=OL36
GO TO 142
IF(QDL-DK23)40,46,46
QDLQ=OL40
GO TO 142

```

IF(QDL-DK24)51,48,49
QDLQ=OL46
GO TO 142
IF(QDL-DK25)48,50,50
QDLQ=OL44
GO TO 142
IF(QDL-DK26)53,52,52
QDLQ=OL48
GO TO 142
IF(QDL-DK27)38,54,54
QDLQ=OL50
GO TO 142
IF(QDL-DK28)63,56,57
QDLQ=OL60
GO TO 142
IF(QDL-DK29)61,58,59
QDLQ=OL56
GO TO 142
IF(QDL-DK30)58,60,60
QDLQ=OL54
GO TO 142
IF(QDL-DK31)56,62,62
QDLQ=OL58
GO TO 142
IF(QDL-DK32)67,64,65
QDLQ=OL64
GO TO 142
IF(QDL-DK33)64,66,66
QDLQ=OL62
GO TO 142
IF(QDL-DK34)69,68,68
QDLQ=OL66
GO TO 142
IF(QDL-DK35)71,70,70
QDLQ=OL68
GO TO 142
IF(QDL-DK36)74,73,107
QDLQ=OL35
GO TO 142
IF(QDL-DK37)76,75,91
QDLQ=OL17
GO TO 142
IF(QDL-DK38)78,77,83
QDLQ=OL7
GO TO 142
IF(QDL-DK39)1,1,81

```

FORAM RETIRADAS TRES LINHAS NESTE
 LOCAL DEVIDO A UM ERRO INICIAL QUE
 COLOCAVA 71 NIVEIS DE SAIDA.
 FOI RETIRADO UM NIVEL DE DECISAO.

```

IF(QDL-DK41)82,82,77
QDLQ=OL5
GO TO 142

```

```

IF(QDL-DK42)85,84,87
QDLQ=OL11
GO TO 142
IF(QDL-DK43)86,86,84
QDLQ=OL9
GO TO 142
IF(QDL-DK44)88,88,89
QDLQ=OL13
GO TO 142
IF(QDL-DK45)90,90,75
QDLQ=OL15
GO TO 142
IF(QDL-DK46)93,92,99
QDLQ=OL25
GO TO 142
IF(QDL-DK47)95,94,97
QDLQ=OL21
GO TO 142
IF(QDL-DK48)96,96,94
QDLQ=OL19
GO TO 142
IF(QDL-DK49)98,98,92
QDLQ=OL23
GO TO 142
IF(QDL-DK50)101,100,103
QDLQ=OL29
GO TO 142
IF(QDL-DK51)102,102,100
QDLQ=OL27
GO TO 142
IF(QDL-DK52)104,104,105
QDLQ=OL31
GO TO 142
IF(QDL-DK53)106,106,73
QDLQ=OL33
GO TO 142
IF(QDL-DK54)109,108,125
QDLQ=OL53
GO TO 142
IF(QDL-DK55)111,110,117
QDLQ=OL43
GO TO 142
IF(QDL-DK56)113,112,115
QDLQ=OL39
GO TO 142
IF(QDL-DK57)114,114,112
QDLQ=OL37
GO TO 142
IF(QDL-DK58)116,116,110
QDLQ=OL41
GO TO 142
IF(QDL-DK59)119,118,121
QDLQ=OL47
GO TO 142
IF(QDL-DK60)120,120,118
QDLQ=OL45
GO TO 142

```

```
IF(QDL-DK61)122,122,123
QDLQ=OL49
GO TO 142
IF(QDL-DK62)124,124,108
QDLQ=OL51
GO TO 142
IF(QDL-DK63)127,126,133
QDLQ=OL61
GO TO 142
IF(QDL-DK64)129,128,131
QDLQ=OL57
GO TO 142
IF(QDL-DK65)130,130,128
QDLQ=OL55
GO TO 142
IF(QDL-DK66)132,132,126
QDLQ=OL59
GO TO 142
IF(QDL-DK67)135,134,137
QDLQ=OL65
GO TO 142
IF(QDL-DK68)136,136,134
QDLQ=OL63
GO TO 142
IF(QDL-DK69)138,138,139
QDLQ=OL67
GO TO 142
IF(QDL-DK70)140,140,141
QDLQ=OL69
GO TO 142
QDLQ=OL71
RETURN
END
```

PROGRAMA USADO PARA COMPARAÇÃO ENTRE O ARQUIVO DE ENTRADA E
RECUPEDADO (USADO NA ANÁLISE DO RUÍDO)

PROGRAMA PARA CALCULO DO NUMERO DE VALORES DISTINTOS
E A DIFERENCA ENTRE OS ARQUIVOS NAQ E NXQ

DIMENSION NAQ(608,1),NXQ(608,1)

DADOS DE ENTRADA PELO FORMAT 1:

A,B e C - COEFICIENTES DAS AMOSTRAS DO PREDITOR
C ou P - 1 SE OS ARQUIVOS COMPARADOS SAO COMPOSTOS
2 " " " " " C. PRIMARIA
QUANT - NUMERO DO QUANT. USADO NO PROCESSAMENTO
NIM - NUMERO DA IMAGEM COMPARADA
NADS - " DO ARQUIVO DE DADOS DE SAIDA
NAR - " DO ARQUIVO RECUPERADO(NXQ) PELO SISTEMA QPCM
NAE - " " " DE ENTRADA(NAQ) DO " QPCM

TYPE 1

FORMAT(1X,'DAR NAE,NAR,NADS,NIM,QUANT,C ou P,A,B,C:(FORM. 4I2,F2.0,I
1 3F5.4 - DEIXAR UM ESPACO ENTRE OS DADOS)',\$,
ACCEPT 2,NAE,NAR,NADS,NIM,QUANT,L,A,B,C
FORMAT(4(I2,1X),F2.0,1X,1I,1X,3(F5.4,1X))

VALORES INICIAIS

IC=0
IT=0
ND=0
NPD=0

ESCRITA DOS DADOS DE IDENTIFICACAO DO ARQUIVO DE SAIDA

WRITE(NADS,3)NIM,A,B,C,QUANT,L
FORMAT(3X,'NIM=',I2,5X,'A=',F5.4,5X,'B=',F5.4,5X,'C=',
1 F5.4,5X,'QUANT:',F2.0,5X,'C ou P:',1I)

IT=IT+1

IL=IL+1

LEITURA DE UMA LINHA DOS ARQUIVO NAQ E NXQ

INICIO=1

IFIM=32

DO 6 I1=1,19

READ(NAE,5)(NAQ(IC1,IT),IC1=INICIO,IFIM)

READ(NAR,5)(NXQ(IC2,IT),IC2=INICIO,IFIM)

FORMAT(32I4)

INICIO=IFIM+1

IFIM=IFIM+32

CONTINUE

ROTINA DE TESTE ENTRE OS VALORES DE NAQ

E NXQ DE MESMA LINHA E MESMA COLUNA

DO 9 I2=1,608

KD=NAQ(I2,IT)-NXQ(I2,IT)

IF(KD)7,9,7

NPD=NPD+1

KDS=ABS(KD)+KDS

KDM=KDS/NPD

ESCRITA DA DIF. ENTRE NAQ E NXQ NO ARQUIVO DE SAIDA

WRITE(NADS,8)KD,NPD,I2,IL,NAQ(I2,IT),I2,IL,NXQ(I2,IT)
FORMAT(3X,'KD=',I4,5X,'NPD=',I6,5X,'NAQ(',I3,',',I3,')=',

```
1 I3,5X,'NXQ(' ,I3,' , ' ,I3,')=' ,I3)
CONTINUE
WRITE(NADS,12)KDM,NPD

TESTE PARA ENCERRAMENTO
IF(IL-512)4,10,10
WRITE(NADS,11)KDM,NPD
FORMAT(/,/, 'KDM=' ,I3,10X, 'NPD=' ,I6,/,/,/, 'ARQUIVO DAS DIFERENCAS
1 ENTRE AS IMAGENS(ARQUIVOS) NAQ(NM) E NXQ(NWE)')
FORMAT(/, 'KDM=' ,I3,10X, 'NPD=' ,I6,/)
END
```

PROGRAMA USADO PARA SE TRAÇAR A PDF

GOPTIONS

DEVICE=VT240 DISPLAY GSFNAME=CRIT GSFLN=132 GSFMODE=REPLACE;

DATA MEDIA;

INFILE 'DUAL:[VIDEODEC.JBRICKHEIM]FOR092.DAT;2';

INPUT

V1 17 - 36

V2 55 - 59;

IF V1>=0.809 AND V1<=0.817 THEN V1 = V1;

ELSE DELETE;

PROC GPLOT;

PLOT V2*V1;

SYMBOL V=' ' I=NEEDLE;

LABEL V1='VALOR DO QUOCIENTE ANTES QUANTIZACAO'

V2='NUMERO DE OCORRENCIAS NO QUADRO';

TITLE 'PDF DO SINAL QNA';

TITLE2 'NX=02 A=0.75 B=0.25 C=0.25';

TITLE3 'SINAL NA SAIDA DO DIVISOR';

FOOTNOTE 'JOAO BATISTA RICKHEIM FILHO';

APÊNDICE B

SEQUENCIA COMPLETA DE HISTOGRAMAS DA PDF DO SINAL "Q"

HB BPO SIGNAL & DATA

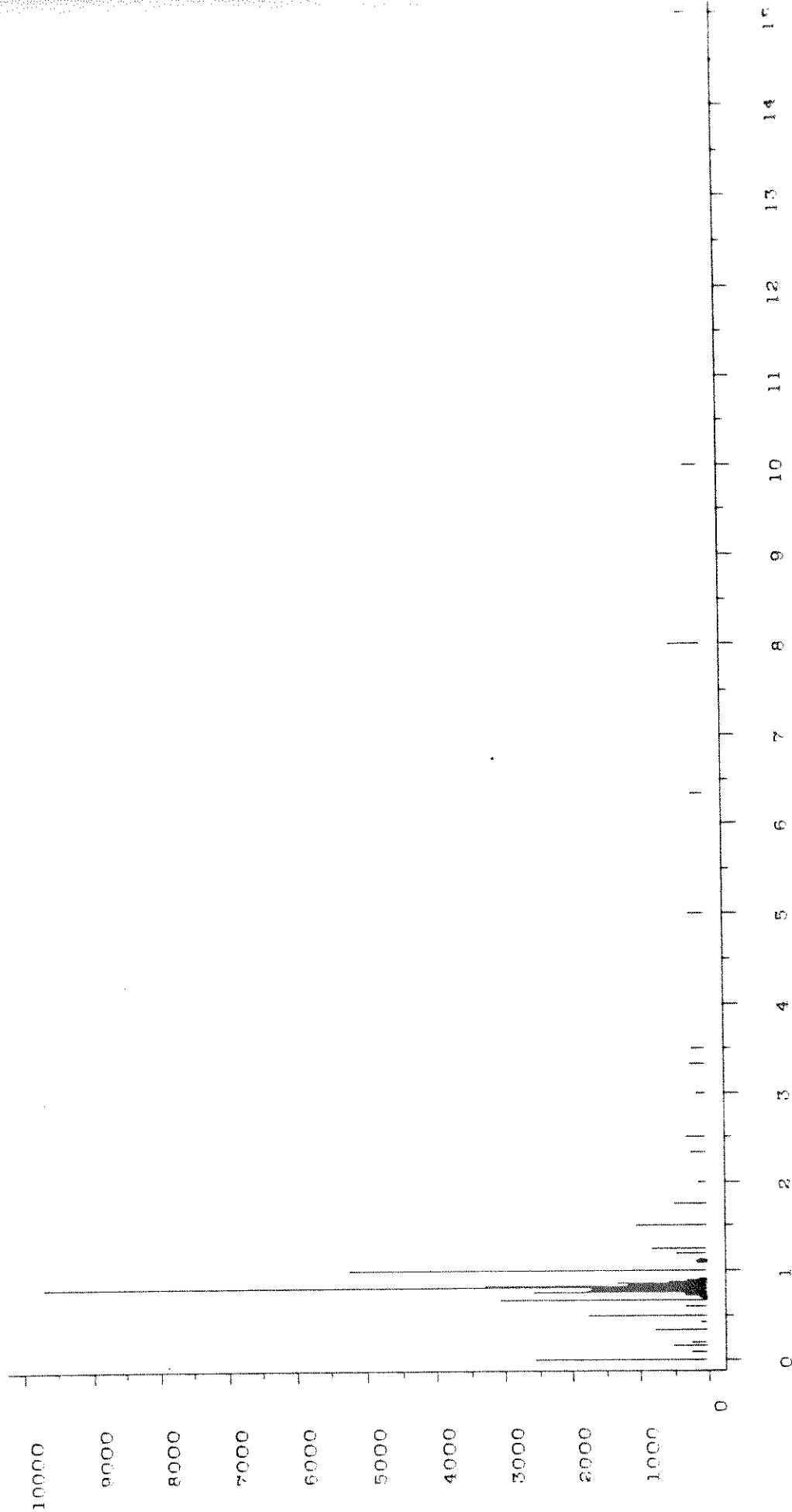
NX-15 A=0.75 P=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

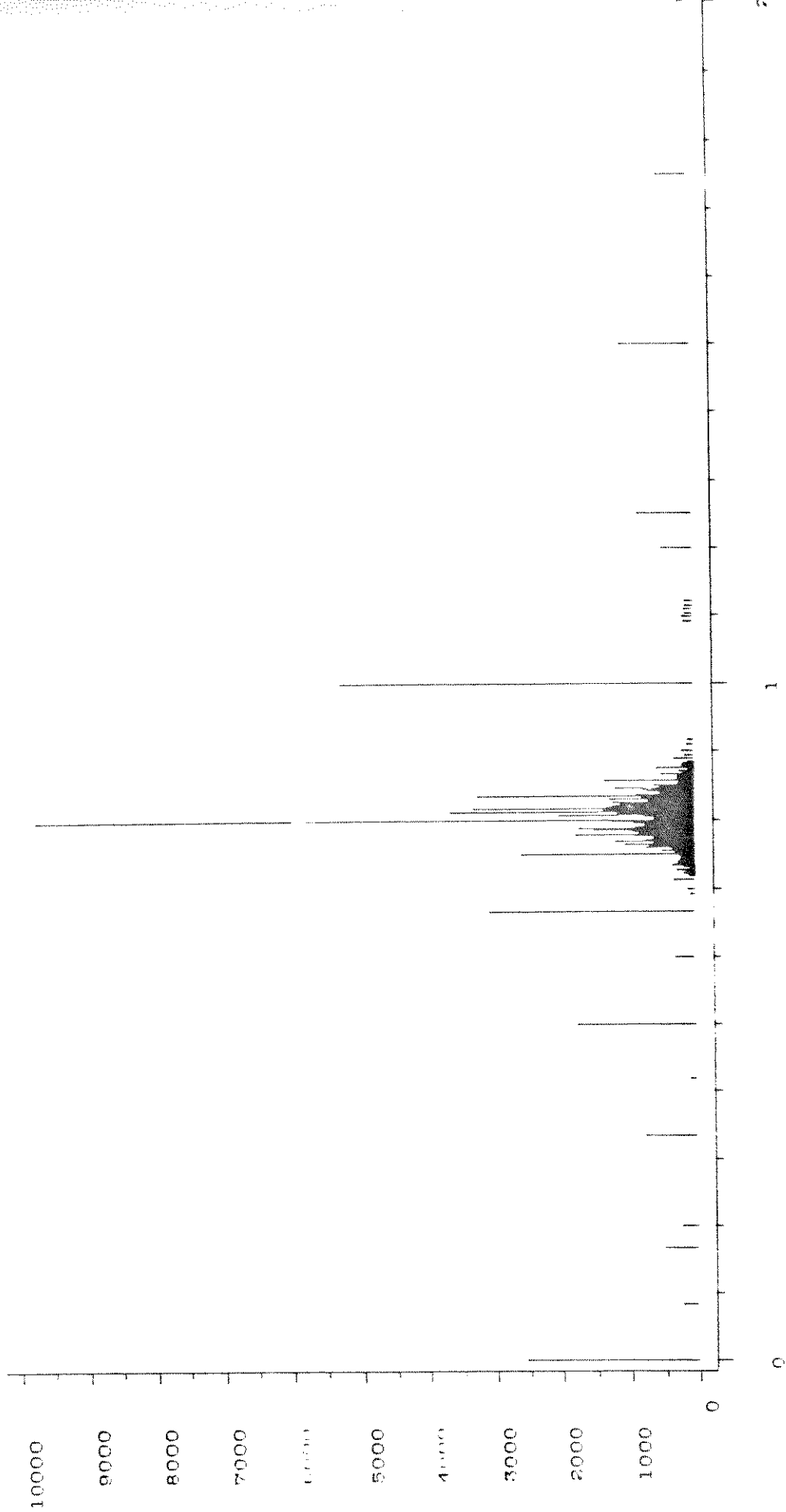
N
O

Q
U
A
D
R
O



NX-15 A-0.75 R-0.25 C-0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N U M E R O O C O R R E N C I A S N O Q U A D R O



VALOR DO QUOCIENTE ANTES QUANTIZACAO

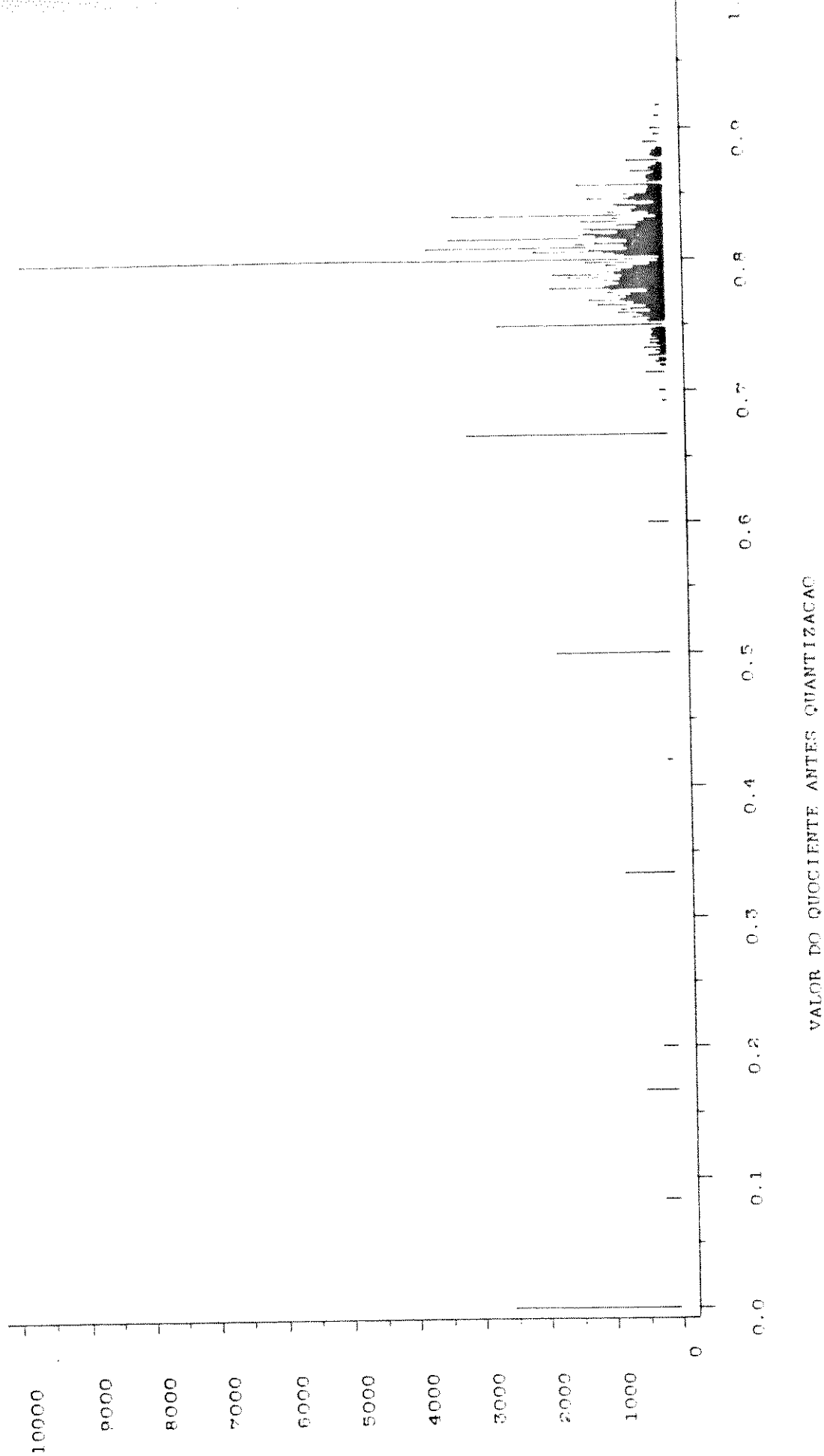
NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

N
O

Q
U
A
D
R
O



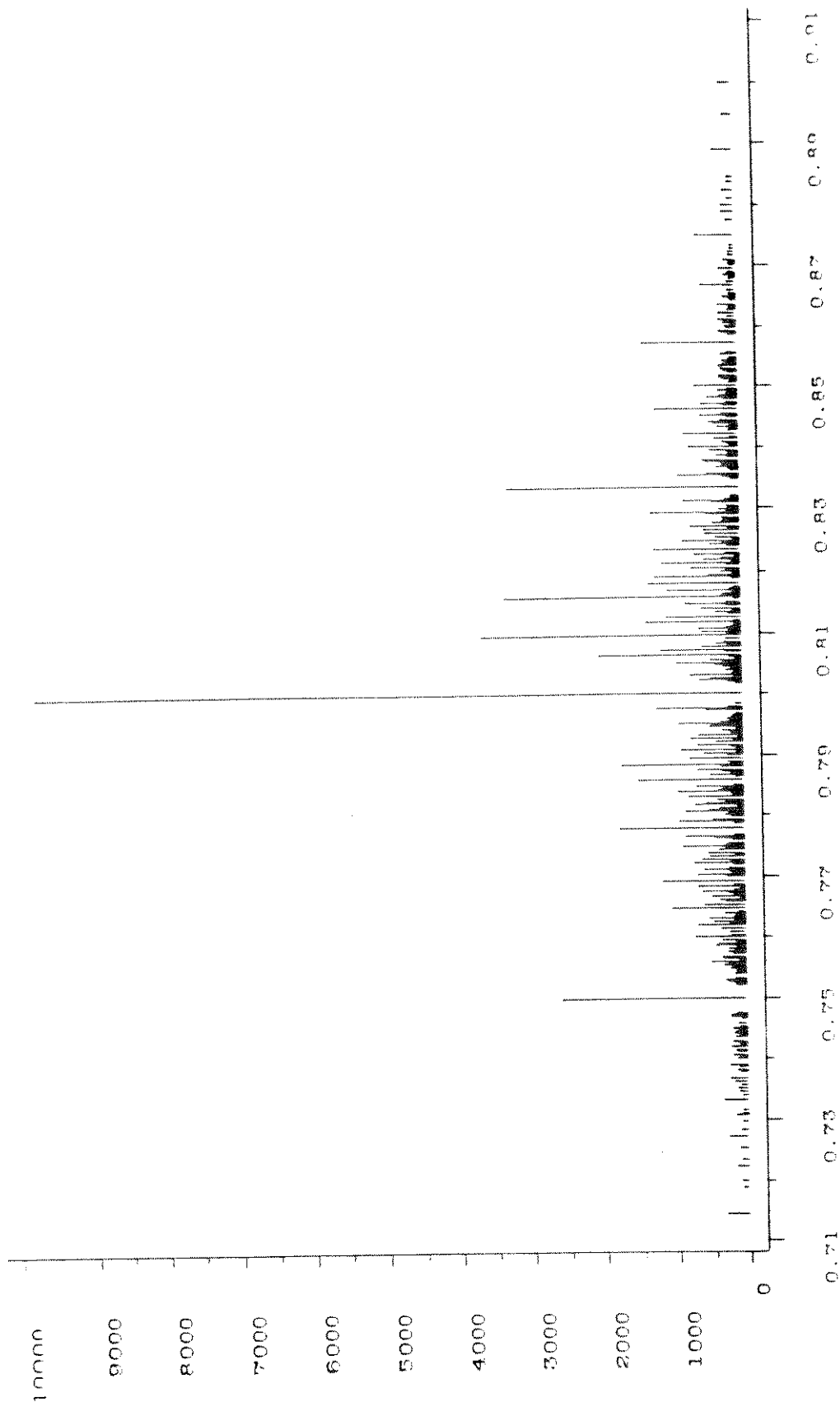
NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

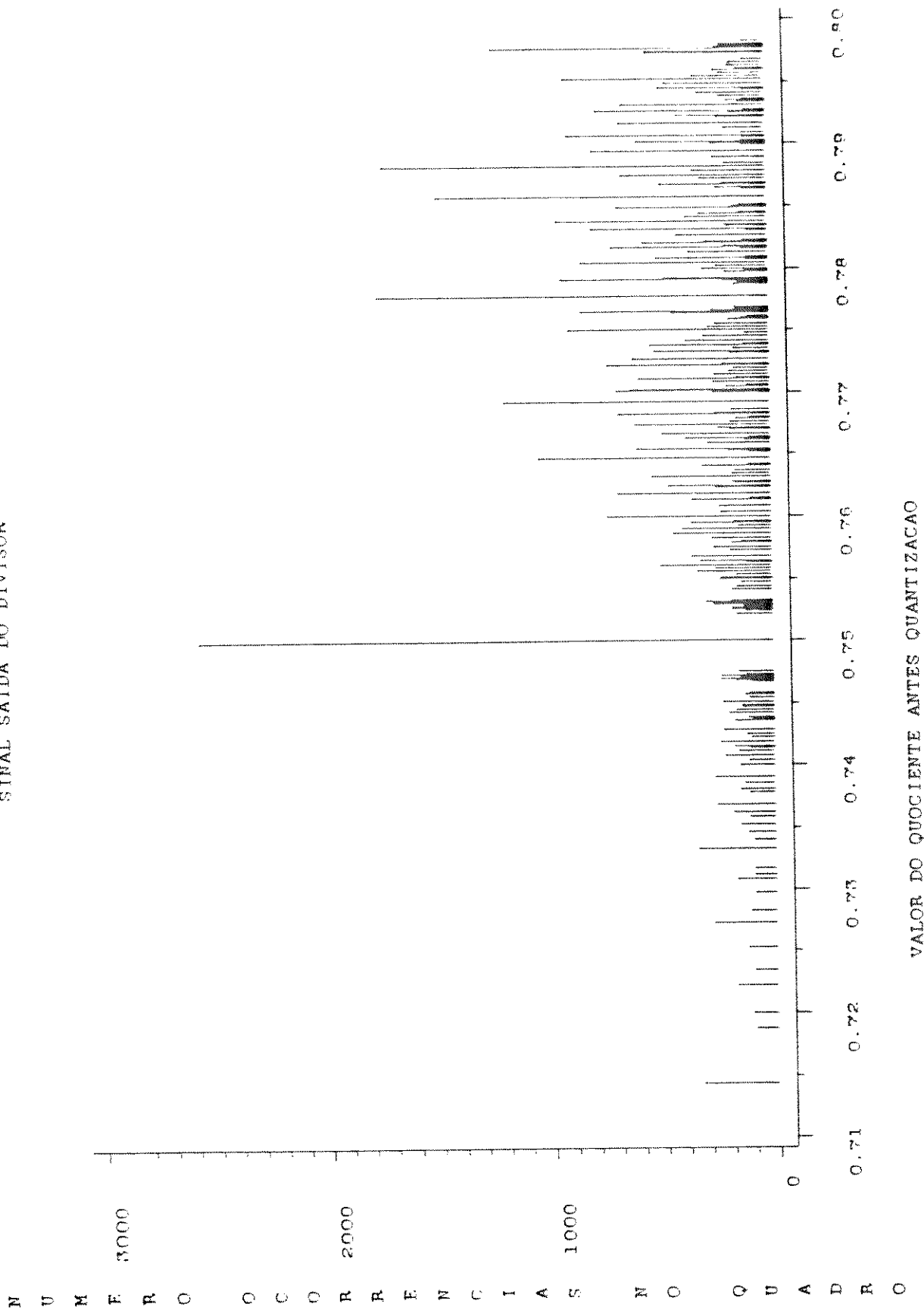
N
O

Q
U
A
D
R
O



VALOR DO QUOCIENTE ANTES QUANTIZACAO

NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR



NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

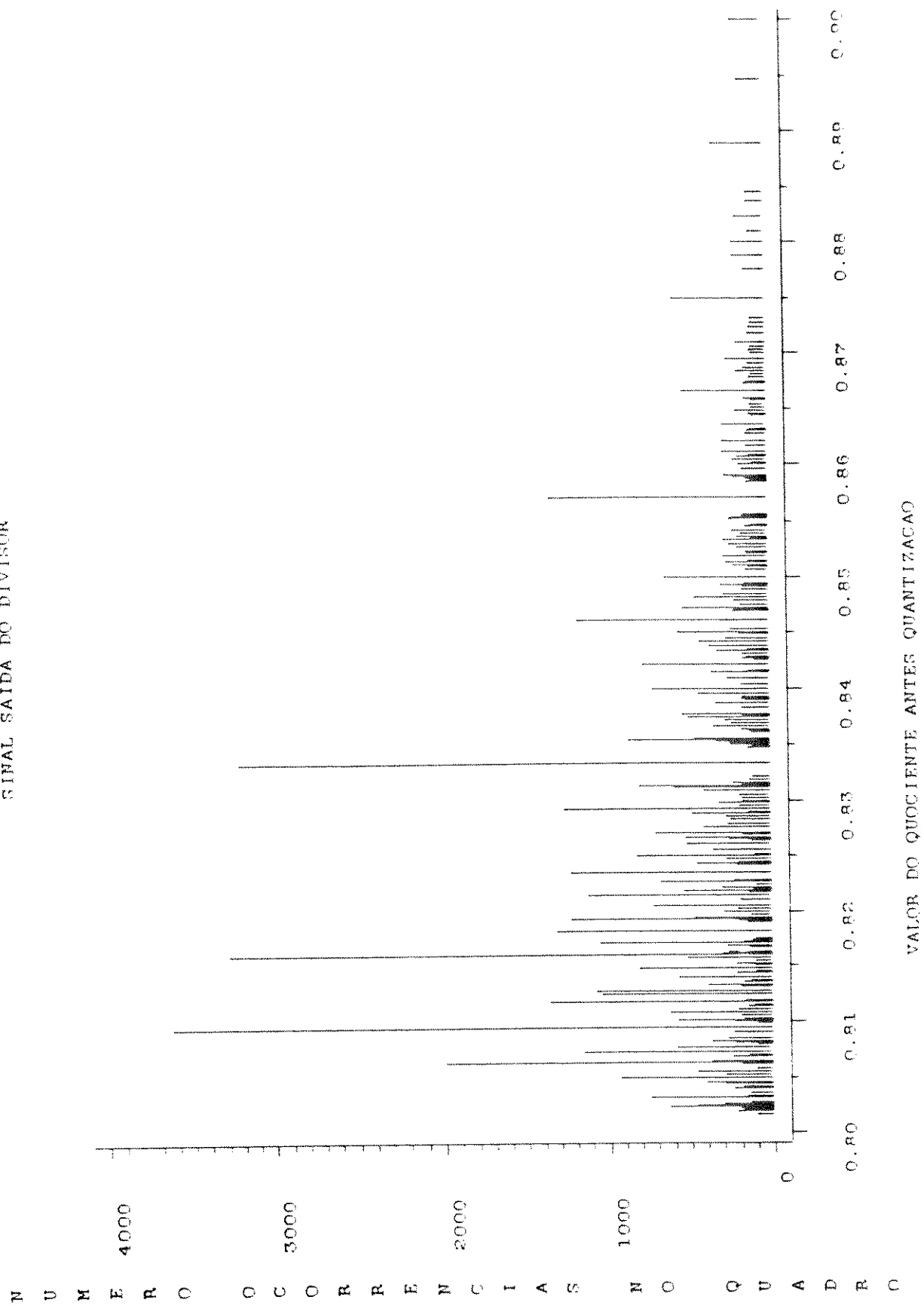
N U M E R O O C O R R E N C I A S N O Q U A D R O

9708

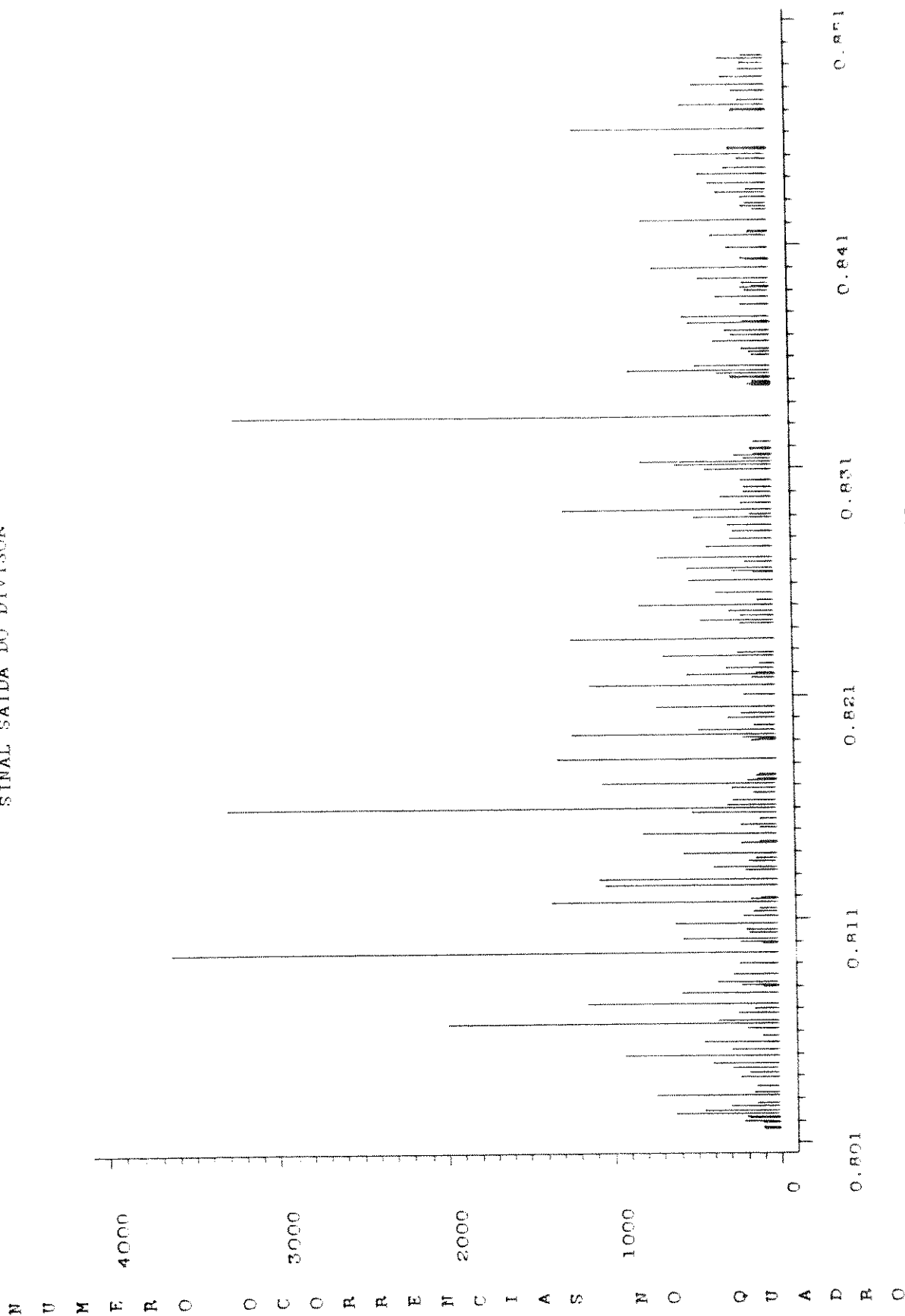
0.80000001192

VALOR DO QUOCIENTE ANTES QUANTIZACAO

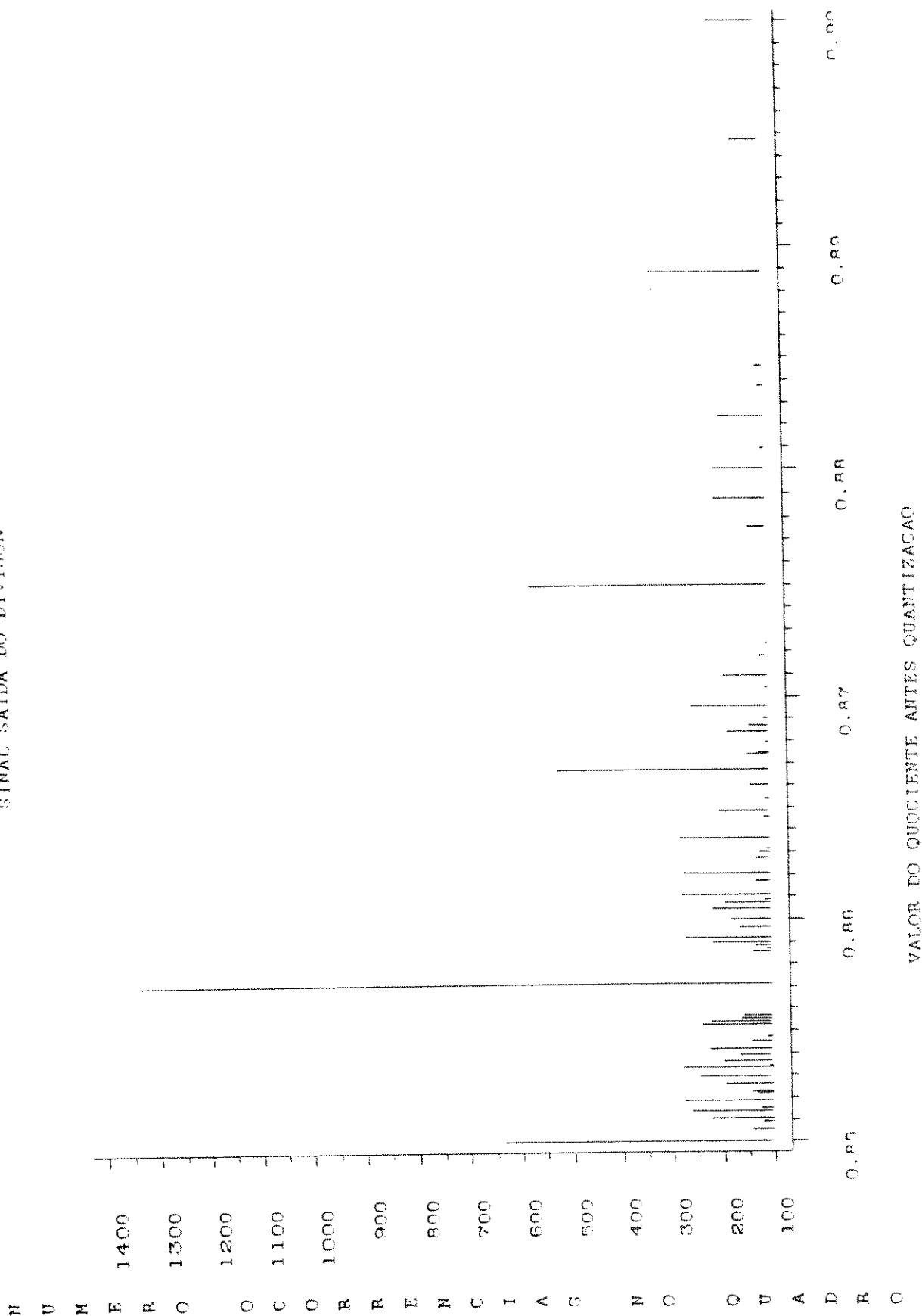
NX-15 A-0.75 B-0.25 C-0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR



NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR



NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR



PP-159 SIGNAL & DATA

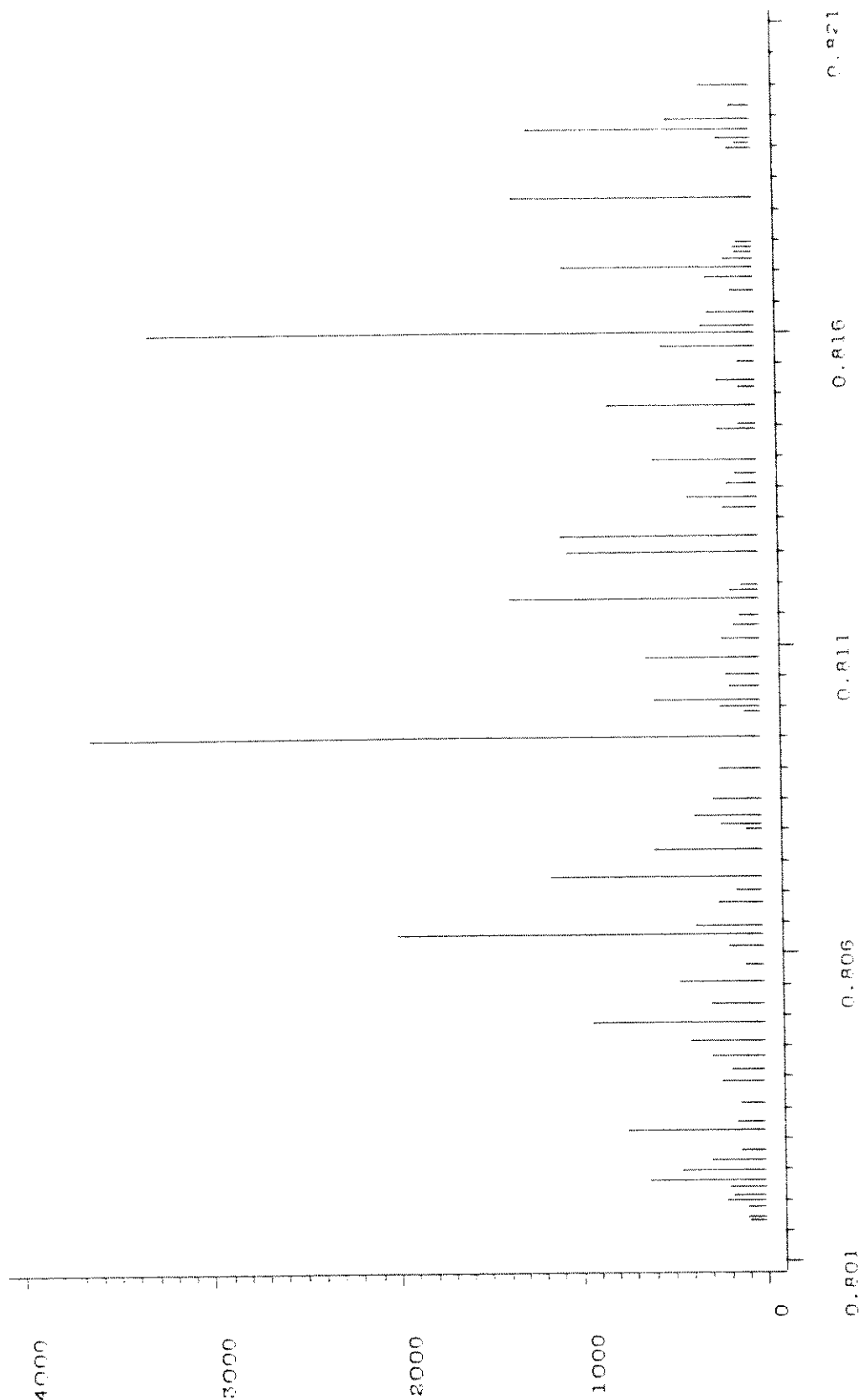
NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

N
O

Q
U
A
D
R
O



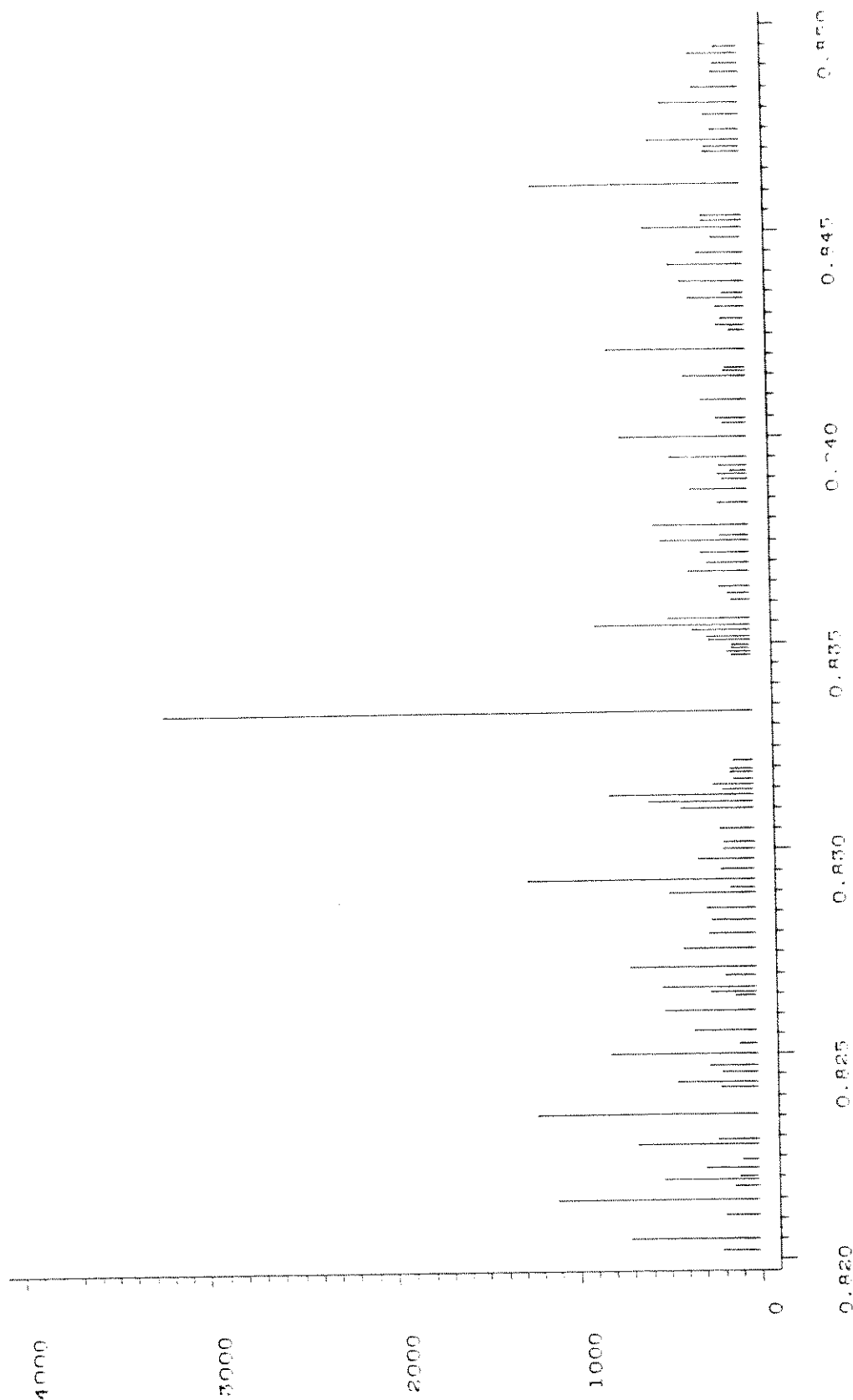
NX-15 A=0.75 R=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

N
O

Q
U
A
D
R
O



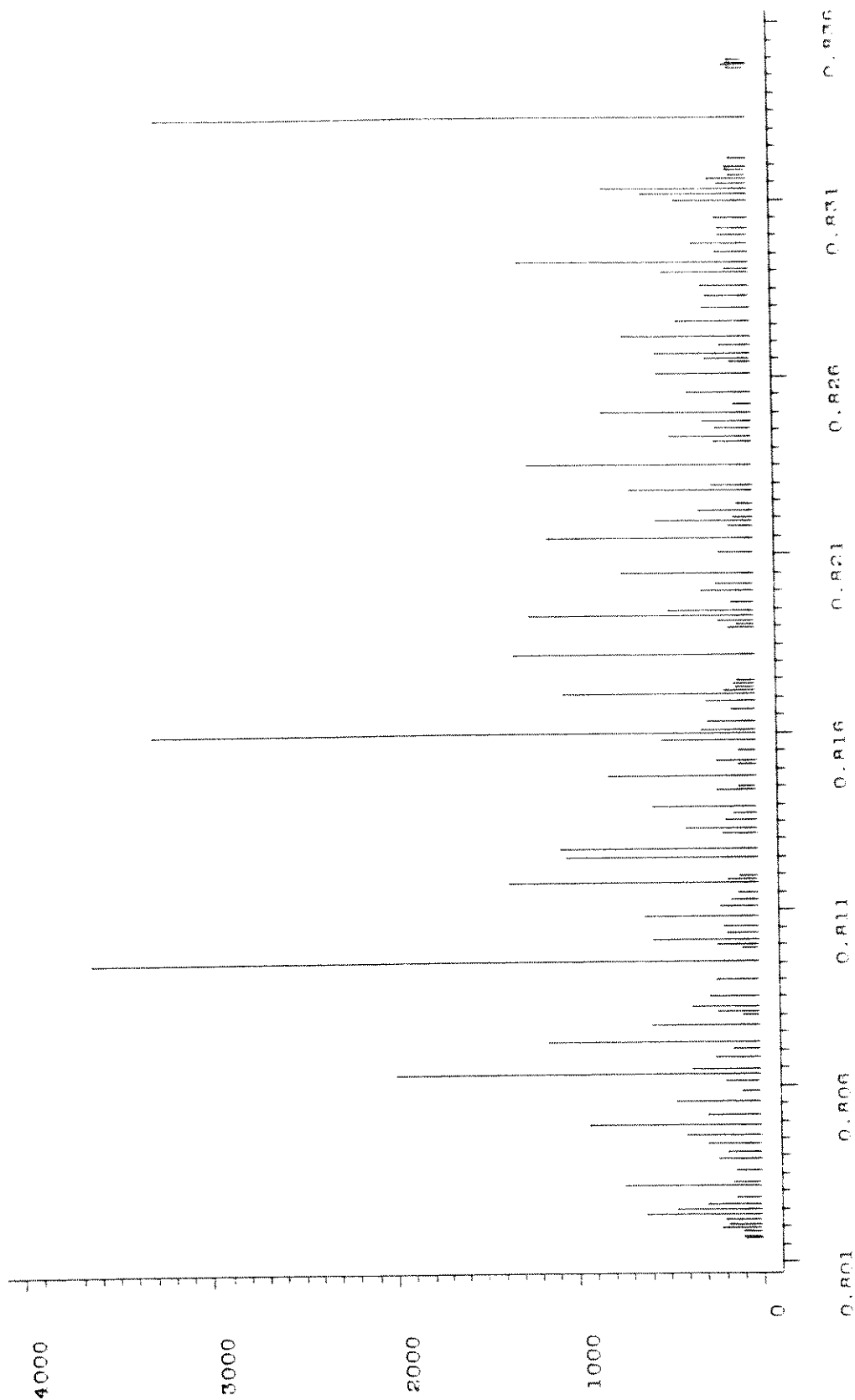
NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N
U
M
E
R
O

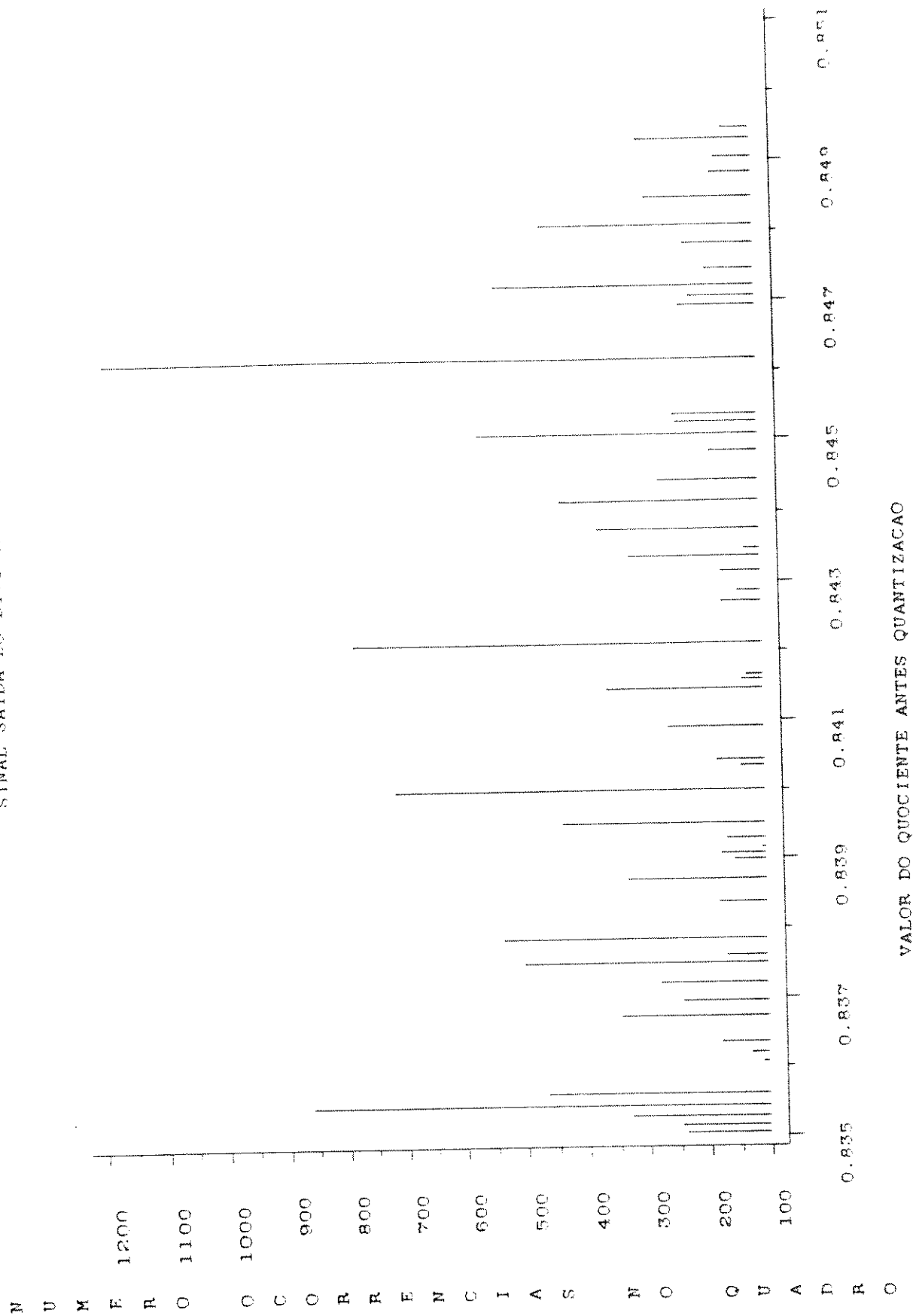
O
C
O
R
R
E
N
C
I
A
S

N
O

Q
U
A
D
R
O

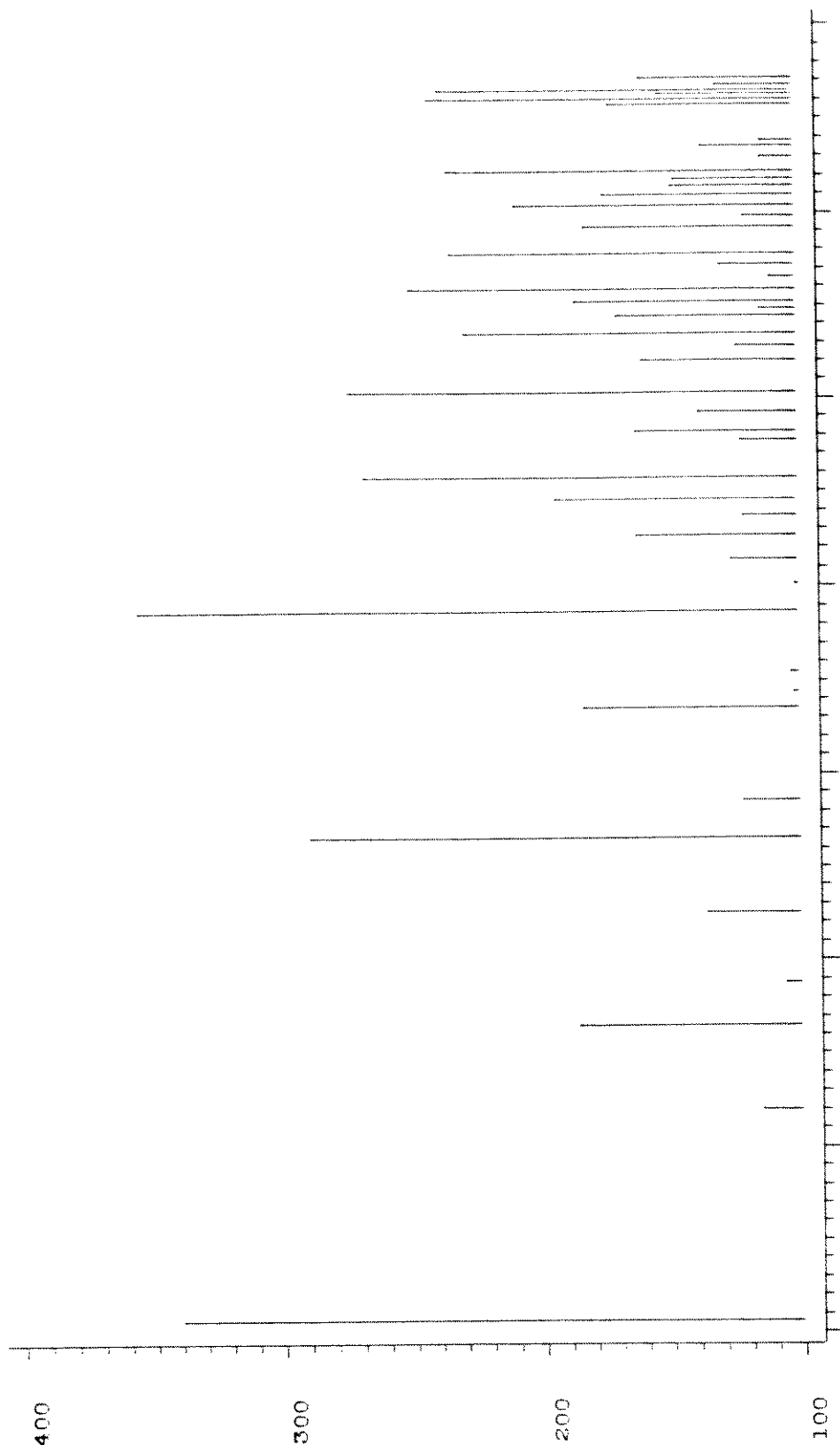


NX=15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR



NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N U M E R O O C O R R E N C I A S N O Q U A D R O

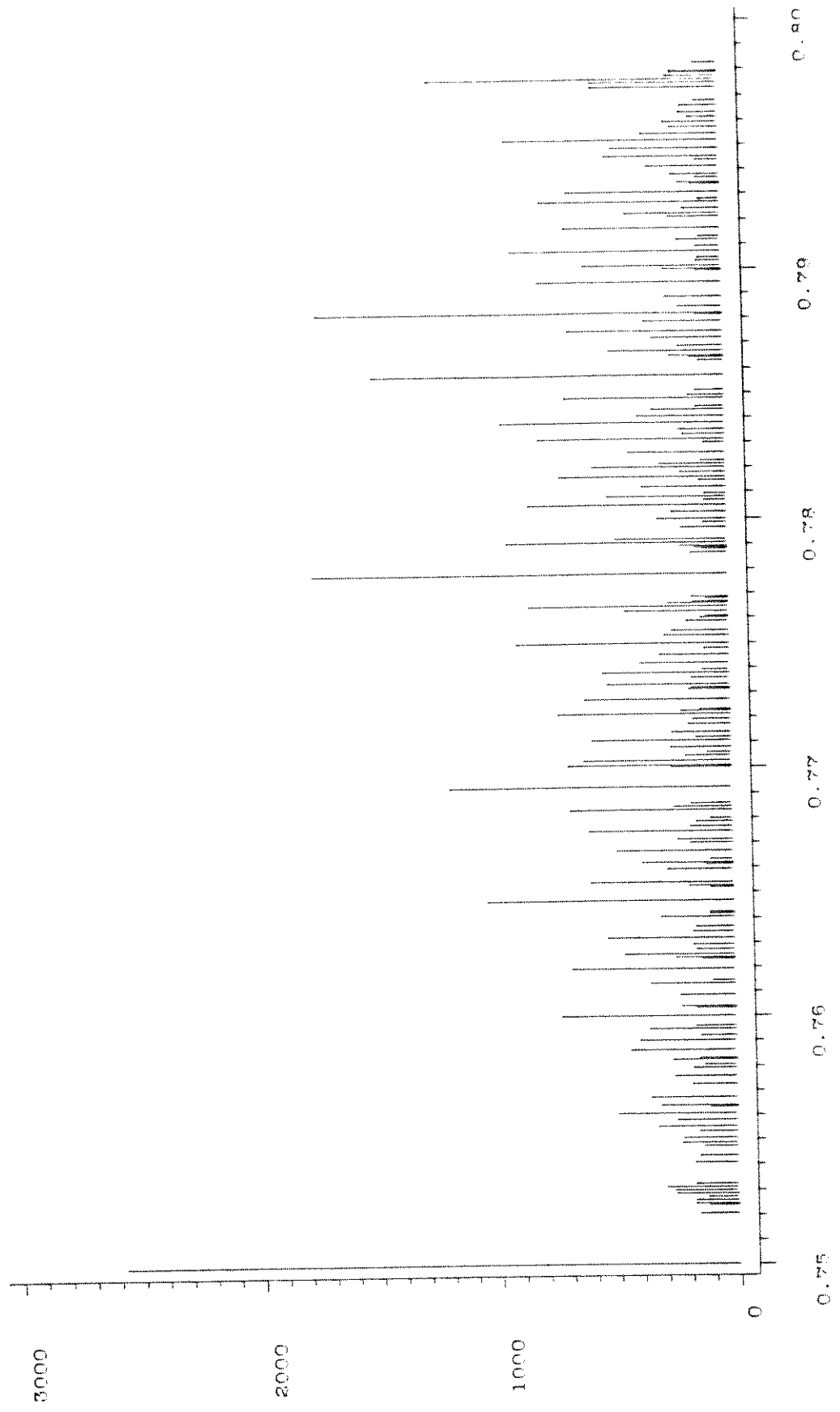


VALOR DO QUOCIENTE ANTES QUANTIZACAO

IN DE CO R E

NX-15 A=0.75 B=0.25 C=0.25
SINAL SAIDA DO DIVISOR

N U M E R O O C O R R E N C I A S N O Q U A D R O



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. Yamamoto, Y. Hatori and H. Murakami, "30 Mbit/s Codec for the NTSC Color TV Signal Using an Interfield-Intrafield Adaptive Prediction", IEEE Transactions on Communications, vol. COM-29, NO. 12, Dec. - 81.
- [2] H. Murakami, S. Matsumoto, Y. Hatori and H. Yamamoto, "15/30 Mbit/s Universal Digital TV Codec Using a Median Adaptive Predictive Coding Method", Ieee Trans. on Com, vol. COM-35, NO. 6, Jun. - 87
- [3] H. Buley and L. Stenger, "Inter/Intraframe Coding of Color TV Signals for Transmission at the Third Level of the Digital Hierarchy", Proceedings of the IEEE, vol. 73, NO. 4, Apr. - 85.
- [4] W. Zschunke, "DPCM Picture Coding with Adaptive Prediction", IEEE Trans. Com., vol. COM-25, NO. 11, Nov - 77.
- [5] K.A. Prabhu, "A Predictor Switching Scheme for DPCM Coding of Video Signals", IEEE Trans. Com., vol. COM-33, NO 4, Apr.- 85.
- [6] C. Richard, A. Benveniste and F. Kretz, "Recursive Estimation of Local Characteristics of Edges in TV Pictures as Applied to ADPCM Coding", IEEE Trans. Com, vol. COM-32, NO. 6, Jun - 84.
- [7] N. Mukawa and H. Kuroda, "Uncovered Background Prediction in

Interframe Coding", IEEE Trans. Com., vol COM-33, NO. 11, Nov - 85.

[8] R. Srinivason and K.R. Rao, "Predictive Coding Based on Efficient Motion Estimation", IEEE trans. Com., vol. COM-33, NO. 8, Aug - 85.

[9] L. Nielsen, K.J. Astrom and E.I. Jury, "Optimal Digitalization of 2-D Images, IEEE Trans Acou., Spee., and Sig. Proc., vol. ASSP-32, NO. 6, Dec - 84.

[10] J. Max, "Quantizing for Minimum Distortion", IRE Trans. Inf. Theory, vol. IT-6, pp. 7-12, 1960.

[11] W. Mauersberger, "Experimental Results on the Performance of Mismatched Quantizers", IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-25, NO. 4, Jul 79.

[12] Y. Yano, N. Allens, A.O. Alonso, J.B. Yabu-Uti e L.C. Martini, "Processamento Digital de Sinais de TV PAL-M por um Sistema MCPD Usando Predição e Quantização", RT 134, Contrato Telebrás/UNICAMP, Fev - 86.

[13] A.O. Alonso, J.B. Yabu-Uti, N. Alens e Y. Yano, "Digitalização de Sinais de TV", RT-80, Dez - 80.

[14] Y. Y, A. Alonso, J.B. Yabu-Uti, L.C. Martini e N. Alens, "Imagens Digitalizadas da SMPTE Armazenadas em Fitas Magnéticas", RT-153, Jul - 87.

- [15] Y. Yano, A. Alonso, J.B. Yabu-Uti, N. Alens, L.C. Martini,
"Programas de Computador para Simulação de Processamento Digital
de Imagens no Sistema MCPD", RT-154, Set - 87.
- [16] CCIR, "TRANSMISSION OF SOUND BROADCASTING AND TELEVISION SIGNAL
OVER LONG DISTANCES (CMTT), Recommendations and Reports of the
CCIR, XVIth Plenary Assembly, Volume XII, 1986
- [17] CCIR, "BROADCASTING SERVICE (TELEVISION)", Recommendations and
Reports of the CCIR, XVIth Plenary Assembly, Volume XI -Part 1,
1986.
- [18] N. Abramson, "Information Theory and Coding", McGraw-Hill, 1963
- [19] A. Papoulis, "Probability, Random Variables and Stochastic
Processes", McGraw-Hill Kogakusha Ltd, Second Edition, 1985
- [20] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, "Digital Signal Processing",
Prentice-Hall, 1975