

PROPOSTA DE PREDITORES LINEARES PARA O

SISTEMA MCPD DE CODIFICAÇÃO

DIGITAL DE SINAL DE VÍDEO

Guilherme Barreto Baird
Yuzo Yano
Roberto Petry
Sérgio Canesin Collucci

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CPqD/TELEBRÁS
KM 118,5 Rodovia Campinas - Mogi Mirim (SP-340)
Caixa Postal 1579 CEP 13085 - Campinas - SP

RESUMO

Neste trabalho são desenvolvidos e analisados de forma subjetiva, algoritmos de predição intracampo, intercampos-intraquadro e intercampos-interquadros para um sistema "MCPD" (Modulação por Código de Pulsos Diferencial) utilizado na redução da taxa de bits de transmissão de um Sinal Digitalizado de TV em Cores. O desempenho dos preditores encontrados deverá ser simulado de forma detalhada em um trabalho subsequente e os resultados obtidos servirão como subsídio para implementação de um equipamento protótipo a ser desenvolvido no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS, que vem desenvolvendo atividades de P&D em vários campos da área de processamento digital de sinais.

I. INTRODUÇÃO

Como se sabe, a Transmissão de Imagens Digitalizadas sem qualquer processamento adicional, com uma posterior recuperação de elevado padrão de qualidade, resulta em uma alta taxa de bits a serem transmitidos. Isto, não só a torna desvantajosa em relação à transmissão analógica como também tende a dificultar ainda mais a situação de alguns meios de transmissão que já operam quase nos limites de sua capacidade; é o caso dos Satélites de Comunicação, onde, além de sinais de vídeo, trafegam também sinais de voz, dados, telex e muitos outros. [1]

Vários estudos estão sendo feitos hoje em dia com o objetivo de se alcançar a redução da taxa de Transmissão de sinais Digital de TV em Cores. Dentre eles está aquele que leva à utilização de um sistema "MCPD" para a extração das informações redundantes e irrelevantes contidas no sinal de vídeo. O princípio de funcionamento deste sistema, ilustrado de forma simplificada na Fig. 1.1 consiste em se transmitir, não o sinal digitalizado proveniente do conversor A/D, mas sim a diferença entre ele e uma estimativa sua efetuada pelo bloco preditor, em função de amostras passadas desse mesmo

sinal. Quanto menores forem estas diferenças, menos bits serão necessários para sua representação e envio, alcançando-se com isso a desejada redução, com qualidade de imagem satisfatória.

Este trabalho se propõe a desenvolver algoritmos de predição específicos, para sistemas MCPD utilizados na redução da taxa de Transmissão de Sinais de TV em Cores.

Assim sendo ele será dividido em três partes. Na primeira serão definidos mosaicos de amostras em uma região considerada uniforme; na segunda serão obtidas as equações de predição propriamente ditas e na terceira serão feitas algumas conclusões e observações em cima de testes feitos, com parâmetros pré-estabelecidos, nos preditores.

2. AMOSTRAGEM

Uma porção considerável das cenas de televisão é composta por regiões ditas uniformes, ou seja, onde não ocorrem movimentos, mudanças de cor ou bordas. Estas regiões são de especial interesse pois é nelas que estarão contidas as já referidas informações redundantes do sinal de vídeo ativo e portanto onde os preditores deverão apresentar o seu máximo

rendimento. Assim torna-se interessante determinar os mosaicos das amostras em uma região suposta totalmente uniforme para, com ele, examinar o desempenho dos preditores.

As amostras contidas em uma região uniforme, na transmissão, não são necessariamente iguais, uma vez que a componente de crominância do sinal composto é resultado de uma modulação "QAM". Com isso, ao traçarmos os mosaicos, as mais diversas relações entre as amostras (A1 e A2 P. Ex.) podem surgir sendo que devemos procurar criar condições para que elas sejam as mais simples possíveis, do tipo $A1 = A2$ ou $|A1| = |A2|$.

A frequência " F_a " utilizada para amostragem do sinal de vídeo analógico deve ser maior ou igual a $2 \cdot 4,2\text{MHz}$ (dobro da faixa permitida para o sinal de vídeo em banda base) a fim de que não haja uma sobreposição de espectros do sinal transmitido (ALIASING) permitindo assim a sua recomposição na recepção. Além do mais ela deve ser do tipo

$$F_a = \frac{T}{S} * F_{sc} \quad (2.1)$$

T e S = inteiros

F_{sc} = frequência da suportadora de cor

a fim de facilitar a sua obtenção, possibilitar o relacionamento de forma simples entre as amostras e satisfazer determinadas convenções impostas pelo órgão padronizador de serviços de comunicação "CCITT". Duas frequências que satisfazem os pré-requisitos citados e cujos estudos apontam como muito promissoras, tornando-as objeto de nosso estudo, são:

$$F_a = (8/3) * F_{sc} \quad (2.2)$$

$$F_a = 4 * F_{sc}$$

O sinal composto de vídeo ativo, em uma região uniforme onde os sinais de luminância e diferença de cor não variam rapidamente, pode ser dado pela Eq.(2.3) e os instantes genéricos de sua amostragem pela Eq. (2.4). Têm-se * :

$$E'_m(t) = E'_y(t) + E'_u(t) \text{sen} \omega_{sc} t + m(t) E'_v(t) \text{cos} \omega_{sc} t \quad (2.3)$$

onde

$E'_m(t)$ = Sinal Composto de Vídeo Ativo

$E'_y(t)$ = Sinal de Luminância

$E'_u(t)$ e $E'_v(t)$ = Sinais de Diferença de Cor

$E'_u(t) \text{sen} \omega_{sc} t + m(t) E'_v(t) \text{cos} \omega_{sc} t = E'_c(t)$ = Sinal de Crominância

ω_{sc} = Velocidade Angular da Suportadora de Cor

$$t_i = t_0 + i T_a \quad (2.4)$$

* o "i" significa correção gama.

onde

t_0 = Instante Inicial de Amostragem

T_a = Período de Amostragem ($= 1/F_a$)

$i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

Os mosaicos devem ser obtidos determinando-se a que distância temporal uma amostra genérica tomada no instante " t_{i1} ", se situará da mais próxima amostra, no instante " t_{i2} ", com mesmo módulo e fase ou com mesmo módulo e fase contrária. Para isso substitui-se a eq. (2.4) na eq. (2.3) nesses dois instantes e em seguida impõem-se as igualdades $E'_m(t_{i1}) = E'_m(t_{i2})$ e $|E'_m(t_{i1})| = |E'_m(t_{i2})|$.

Assim são obtidas 2 expressões provenientes de cada uma dessas igualdades, indicando as distâncias temporais procuradas. São elas:

a) Mesmo módulo e fase:

$$i_1 - i_2 = (F_a / F_{sc}) * \{ (\beta/2) * [m(t_{i2}) - m(t_{i1})] + c \} \quad (2.5)$$

$$i_1 + i_2 = (F_a / F_{sc}) * \{ (1+2C)/2 - (\rho_0/\pi) - \beta * [m(t_{i1}) + m(t_{i2})] / 2\pi \} \quad (2.6)$$

b) Mesmo Módulo e Fase Contrária:

$$i_1 + i_2 = (F_a / F_{sc}) * \{ C - \rho_0/\pi - (\beta/2\pi) * [m(t_{i1}) + m(t_{i2})] \} \quad (2.7)$$

$$i_1 - i_2 = (F_a / F_{sc}) * \{ (1+2C)/2 - (\beta/2\pi) * [m(t_{i1}) - m(t_{i2})] \} \quad (2.8)$$

onde

$\rho_0 = \omega_{sc} t_0$ = Fase Inicial de Amostragem

$\beta = \text{ARCTG}(E'_v/E'_u)$

$m(t) = \pm 1$ = Chaveamento "PAL"

$c = 0, 1, 2, 3 \dots$

Pelas equações (2.5), (2.6), (2.7) e (2.8) dois casos podem ocorrer no relacionamento que estamos tentando impor entre as amostras; o primeiro quando as duas estão sobre a mesma linha ou em linhas distintas com a mesma chave "PAL" e o segundo quando elas estão em linhas também distintas, mas com chaves "PAL" contrárias. No primeiro caso $m(t_{i1}) = m(t_{i2}) = \pm 1$ resultando assim as equações (2.5) e (2.8) dependentes apenas da frequência de amostragem, ou seja, uma vez determinada " F_a ", o distanciamento entre as duas amostras torna-se conhecido e fixo. Já o segundo caso isto não ocorre pois $m(t_{i1}) = -m(t_{i2})$ e como consequência torna-se impossível determinar as distâncias procuradas em função das equações (2.5) a (2.8) sem que algum outro parâmetro, que não " F_a ", seja definido. Uma solução proposta para o contorno deste problema seria utilizar a "Técnica de Amarração de Fase" ou "TAF" [2] que consiste em se arbitrar um instante inicial de

amostragem " t_0 " bem definido em relação a onda de subportadora de cor. Os mosaicos de um quadro, obtidos com uma fase amarrada no cruzamento de zero do cosseno com derivada positiva, e um diagrama das distâncias entre as amostras, para determinados posicionamentos relativos nas linhas dos mesmos, são dados pelas Figs. 2.1. e 2.2 respectivamente.

3. PREDIÇÃO

Baseados em experiências anteriores, de outros trabalhos na área [2,3] quanto ao melhor desempenho, complexidade e maior viabilidade de uma futura implementação prática, os preditores são desenvolvidos fazendo-se as seguintes restrições:

- R1 - Serão utilizadas para qualquer caso, no máximo, 2 linhas (por quadro) adjacentes à atual, sendo as mesmas as mais próximas possíveis da atual.
- R2 - Serão utilizadas, amostras, distanciadas de $4 \cdot T_a$ (quatro vezes o período de amostragem) da amostra atual, projetada na linha considerada.
- R3 - O número máximo de amostras prévias a serem efetivamente usadas na predição será menor ou igual a 3.
- R4 - Só serão aproveitados os preditores cujos coeficientes estejam contidos no conjunto $\{-1, 0, 1\}$.

Como a região na qual estamos considerando para trabalho é tida uniforme ou, no máximo, com variação lenta e linear dos brilhos " B_R ", " B_G ", e " B_B ", faremos ainda 3 suposições de modelamento.

- S1 - Há uma variação lenta e linear dos sinais E_y , E_u e E_v no tempo, em torno de " t_i " [instante do "PEL" previsto] ao longo da linha em que o mesmo se encontra; logo, dentro de um pequeno intervalo ΔT , na linha, tem-se:

$$E'_L(t_i + \Delta t) = E'_L(t_i) + K_L \Delta t \quad (3.1)$$

Os coeficientes " K_L " são supostos iguais nas linhas consideradas.

- S2 - Não há variação dos sinais de luminância e de diferença de cor na vertical em torno

de " t_i "; logo, para linhas bem próximas da linha onde está " t_i " e na sua vertical, temos:

$$E'_L(t_i - mT_H) = E'_L(t_i) \quad (3.2)$$

$m = \text{Inteiro}$

$T_H = \text{Período de Varredura de 1 linha}$

- S3 - Não há variação dos sinais de luminância e de diferença de cor entre " t_i " e o "PEL" que está na sua projeção no quadro consecutivo. Portanto:

$$E'_L(t) = E'_L(t) = E'_L(t - QT_H) \quad (3.3)$$

$L = y, u, v$

$Q = \text{Número de linhas de um quadro}$

A justificativa para a validade das suposições feitas reside na proximidade das amostras nas linhas e quadros considerados e só são válidas para esses casos.

O desempenho dos preditores será analisado sobre os seguintes aspectos: Distância média ponderada (DP) e relação sinal ruído (RSR).

A distância média ponderada é definida como:

$$DP = \frac{NLC \sum_{n=1}^{b_n} \sum_{k=an}^{|A_{nk}|^d}}{NLC \sum_{n=1}^b \sum_{k=an}^{|A_{nk}|}} \quad (3.4)$$

onde

NLC = Número de linhas consideradas para predição.

a_n, b_n = "RANGE" de amostras na n 'ésima linha.

A_{nk} = Coeficiente da n 'ésima amostra na n 'ésima linha.

O seu módulo é um peso de ponderação.

d_{nk} = Distância entre a amostra de coeficiente

" A_{nk} " e a atual

Espera-se que "DP" assuma os menores valores possíveis uma vez que com isso as amostras utilizadas estarão mais próximas, aproveitando-se melhor a correlação entre elas [4].

Se adotarmos a notação

$$X_{i+k,j+n} = E_m^i [t_0 - iT_a - (k+nF) T_a] \quad (3.5)$$

onde

$X_{i,j}$ = amostra tomada no instante genérico
 $t_i = t_0 + iT_a$ na linha j .

$X_{0,j}$ = amostra tomada no instante inicial " t_0 "
na linha j .

F = número de amostras por linha, na
frequência de amostragem considerada.

$$F = 909 p/F_a = 4 F_{sc}$$

$$606 p/F_a = (8/3) F_{sc}$$

$$n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$$

podemos definir erro de predição " E_p " como:

$$E_p = X_{i,j} - \bar{X}_{i,j} \quad (3.6)$$

onde

$X_{i,j}$ = amostra a ser prevista

$\bar{X}_{i,j}$ = amostra prevista

Uma vez que utilizaremos predição linear, o
valor previsto $\bar{X}_{i,j}$ na equação (3.6) será dado
por

$$\bar{X}_{i,j} = \sum_{n=1}^{NLC} \sum_{k=a_n}^{b_n} A_{kn} X_{i+k,j+Ln} \quad (3.7)$$

Ln = número da n -ésima linha considerada, no
quadro

A amostra a ser prevista $X_{i,j}$ é encontrada
substituindo-se a equação (3.5) na equação 2.3,
resultando em :

$$X_{i+k,j+n} = E_y [t_i - (k+nF)T_a] + E_u [t_i - (k+nF)T_a] \text{senw}_{sc} [t_i - (k+nF)T_a] +$$

$$+ m [t_i - (k+nF)T_a] E_v [t_i - (k+nF)T_a] \text{cosw}_{sc} [t_i - (k+nF)T_a] \quad (3.8)$$

Portanto, levando-se em conta "S1", "S2" e
"S3", a equação (3.8) pode ser reescrita como

$$X_{i+j,j+Ln} = E_y (t_i) - k K T_a + [E_u (t_i) - k K T_a] \text{senw}_{sc} [t_i - (k_{Ln} + K) T_a] +$$

$$+ (-1)^{Ln} [E_v (t_i) - k K T_a] \text{cosw}_{sc} [t_i - (k_{Ln} + K) T_a] \quad (3.9)$$

com K_{Ln} = constante e função da linha utilizada e
da frequência de amostragem (F_a).

As constantes das equações (3.7) e (3.9), em
função do tipo de amostra utilizadas para
predição, são dadas na tabela 3.1.

Os coeficientes de predição são determinados
substituindo-se os valores obtidos na tabela 3.1
nas expressões (3.7) e (3.9). Isto fará com que
o erro de predição seja escrito por uma
expressão do tipo:

$$E_p(t_i) = EQ1 E_y(t_i) + EQ2 K K_y + EQ3 E_u(t_i) \text{senw}_{sc}(t_i) + EQ4 K K_u$$

$$\cdot \text{senw}_{sc}(t_i) + EQ5 m(t_i) E_v(t_i) \text{cosw}_{sc}(t_i) + EQ6 m(t_i) K K_v$$

$$\cdot \text{cosw}_{sc}(t_i) \quad (3.10)$$

onde EQ1, EQ2, EQ3, EQ4, EQ5 e EQ6 são equações
lineares com um número de incógnitas que é
função direta do número de amostras utilizadas
para se fazer a predição.

Como queremos que o erro seja nulo, as
equações formarão um sistema cuja solução
dependerá ou não de " t_0 " e cujas incógnitas
serão os próprios coeficientes procurados. Caso
não haja uma dependência de " t_0 ", o sistema
resultará em preditores únicos para todas as
amostras ao passo que se isso não ocorrer, um
conjunto de preditores, a serem chaveados de
acordo com a amostra prevista, deverá ser
definido.

Um outro aspecto a ser levado em conta, é que,
satisfazer todas as equações do sistema equivale
a supor um caso mais geral do nosso estudo, ou
seja, que os preditores estejam atuando em
regiões onde variam as três componentes E_y , E_u e E_v
do sinal composto, ao mesmo tempo. Pode ser que
isso não ocorrerá e que uma, duas ou três
componentes sejam constantes, reduzindo assim o
número de equações a serem satisfeitas. Desta
forma o sistema de equações obtido será
resolvido para os quatro tipos de situação dada
pela tabela 3.2, separadamente, muito embora
possam surgir preditores que, obtidos pelos
pré-requisitos impostos por uma situação, possam
satisfazer todos ou partes dos pré-requisitos
impostos por outro, tornando assim mais atente
ainda a sua utilização.

As tabelas 3.3 e 3.4 resumem as equações de
predição obtidas, bem como a distância média
ponderada e a situação de correção de cada uma
delas. Os casos unidimensionais e
tridimensionais - intraquadro não são
representados por estarem contidos nos
bidimensionais e tridimensionais - interquadros.

Embora a quantidade de preditores obtida
tenha sido bem maior do que aquela relacionada,
procurou-se escolher apenas aqueles que
apresentam uma distância média ponderada
relativamente pequena, posto que quanto menor
for esse parâmetro, maior tende a ser a

correlação entre as amostras utilizadas para predição e portanto melhor o desempenho do preditor. De fato, isso pode ser comprovado através da Fig. 3.1 onde se vêem os resultados de algumas simulações preliminares feitas com três preditores, um com "DP" pequeno, outro com "DP" médio e outro com "DP" grande, usando-se determinados sinais de testes padronizados.

O quantizador utilizado foi um de comprimento de palavra igual a 8 bits usando a lei 5 da referência [2] com APG = 1,03.

Um outro aspecto interessante observado nesse trabalho, é o fato de se poder obter preditores que usem amostras localizadas em linhas com chaveamento "PAL" contrário sem necessidade de amarração de fase; isto é possível desde que o número de amostra nesta linha seja par. Assim, para previsão de uma amostra localizada na linha "J" podemos utilizar as amostras localizadas na linha J+1 sem fase definida.

Num próximo trabalho de continuação a este, serão testados todos esses preditores para um conjunto bem maior de sinais de cenas padronizados para testes, podendo inclusive, serem utilizadas cenas em movimento. O leque de parâmetros a serem usados também será maior posto que, além da relação sinal ruído "RMS", também serão medidas a relação sinal ruído de pico e a taxa na linha. Os preditores selecionados por esse trabalho não só terão grande valor individual, para implementação imediata de um sistema "MCPD", como também servirão para dar base ao estudo de métodos de predição adaptativa. Nestes métodos, mais aperfeiçoados, já se prevê a presença de "Bordas" nas cenas, e se baseiam na utilização de um conjunto de preditores a serem chaveados de acordo com os seus pontos de melhor desempenho, ou seja, interquadros para cenas com pouco movimento, intercampos para cenas com razoável quantidade de movimento e intracampo para cenas com muito movimento [1].

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram desenvolvidos os mosaicos de uma imagem de TV em cores para regiões uniformes, bem como os preditores necessários a sua previsão em um sistema "MCPD" utilizado para redução da taxa de transmissão. Por fim foram feitas algumas considerações sobre os resultados obtidos no mesmo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Hitomi Murakami, Shuichi Matsumoto, Yoshinori Hatori and Hideo Yamamoto, "15/30 MBit/s Universal Digital TV Codec Using a Median Adaptive Predictive Coding Method", IEEE Transactions on Communications, Vol. COM 35, nº 6, June 1987.
- [2] Yuzo Yano, "Digitalização de Sinais de TV Através de um Sistema "MCPD" com Predição e Quantização", Tese de Doutorado, Jan. 86.
- [3] João B.T. Yabu-uti, "Redução da Taxa de Bits para Transmissão do sinal de TV Composto PAL-M", Tese de Doutorado, Fev. 83.
- [4] K. Sawada e M. Kotera, "A 32 MBit/s Component Separation DPCM Coding System for NTSC Color TV", IEEE Transaction on Communications, com 26, nº 4, pp. 458-465, April 1978.

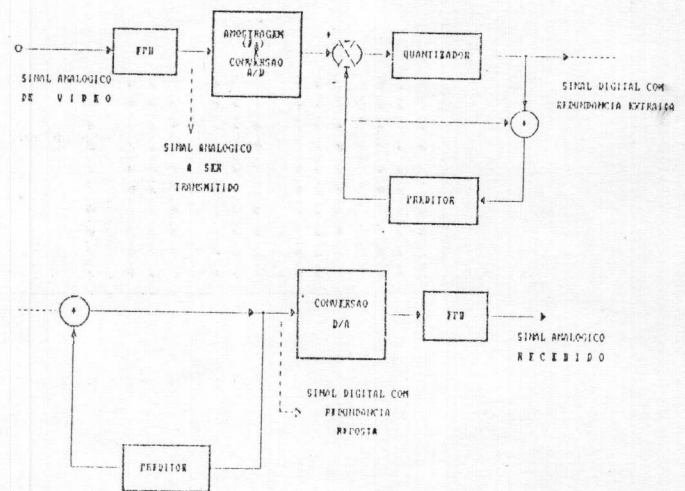
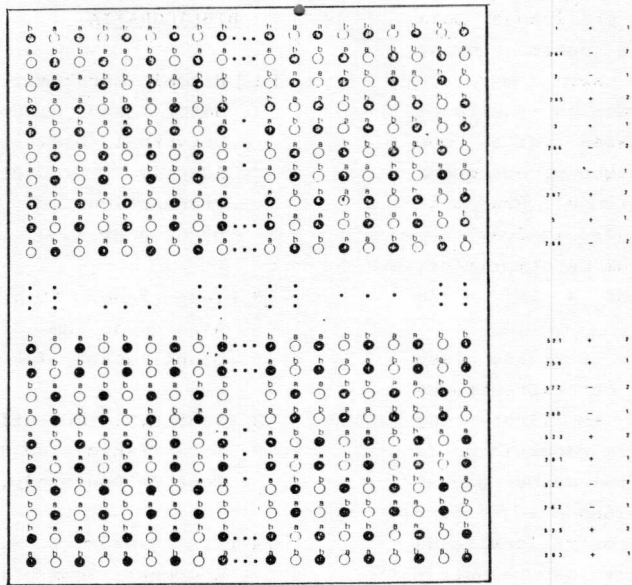
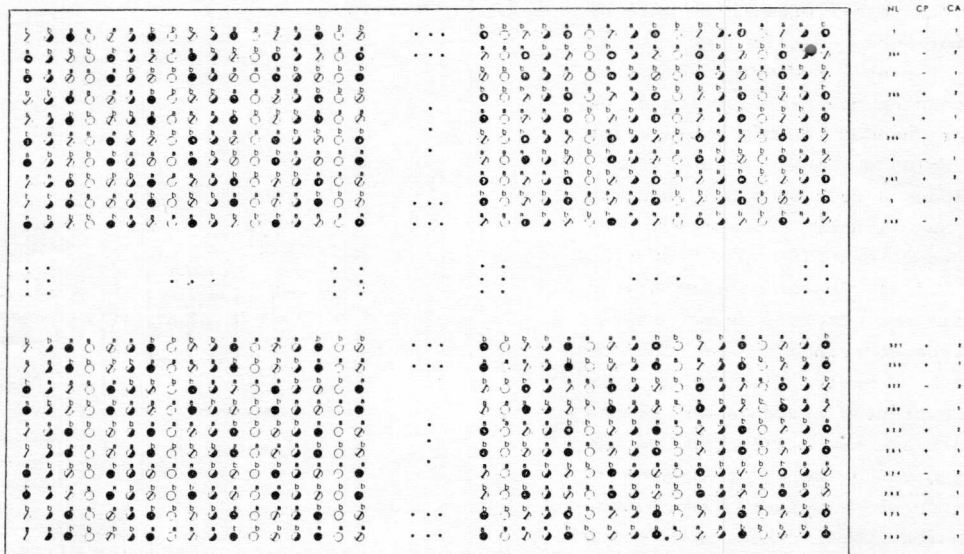


Fig.1.1- Diagrama de Blocos Simplificado de um Sistema "MCPD".



(a)



(b)

Fig. 2.1- Mosaico das amostras em um quadro com

$$\rho_0 = \frac{3\pi}{2}. \text{ (a) } F_a = 4F_{sc}; \text{ (b) } F = \frac{8}{3} F_{sc}$$

h	UNIDIMENSIONAL				BIDIMENSIONAL				TRIDIMENSIONAL (Intraquadro)				TRIDIMENSIONAL (Interquadro)			
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_1	h_2	h_3	h_4	h_1	h_2	h_3	h_4	h_1	h_2	h_3	h_4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabela 3.1 - Constantes de predição.

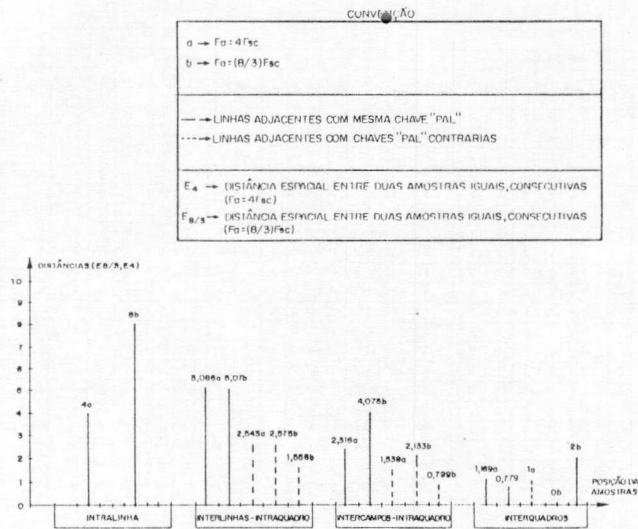


Fig. 2.2- Distâncias físicas entre amostras iguais (sinal com posto) para todas as posições relativas entre elas, no quadro.

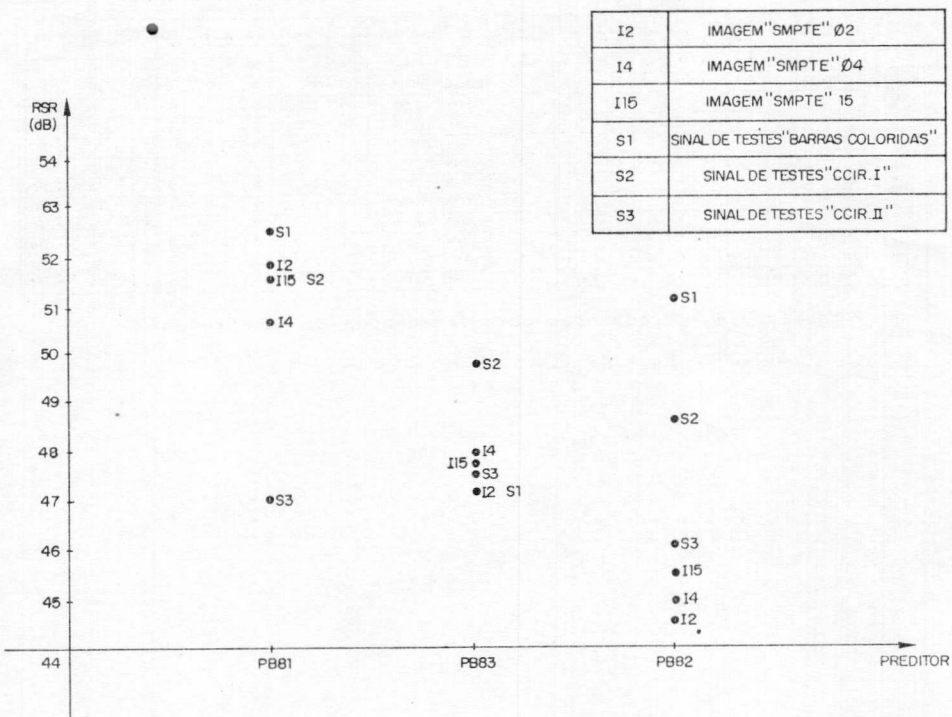


Fig. 3.1 - Desempenho dos preditores, $F_a = (8/3)F_{sc}$.

Situação 1	Região com variação lenta e linear dos brilhos primários
Situação 2	Região onde existe variação lenta e linear dos sinais diferença de cor e a componente de luminância é constante
Situação 3	Região onde existe variação lenta e linear da componente de luminância e os sinais diferença de cor são constantes
Situação 4	Região plana ou uniforme

Tabela 3.2 - Situações possíveis para o sinal composto.

		Fa = (8/3)F _{sc}																								
		BIDIMENSIONAIS					TRIDIMENSIONAIS																			
Amostra Prevista	Preditor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Situação Corrigida	DP	Preditor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Situação Corrigida	DP
Todas as Amostras (sem TAP)	PIR1	1	1	1	1	0	0	2	1	2		S2	2,4628	PIR21	1	1	-1	-4	263	0	263	0	262	S3	2,4606	
	PIR2	-1	1	1	-4	1	4	1	4	2		S4	4,5519	PIR22	1	-1	1	1	0	1	262	1	262	S2	1,4691	
	PIR3	-1	1	1	4	0	-1	1	3	1		S4	3,0772	PIR23	-1	0	0	0	788	0	0	0	0	S4	0,7790	
	PIR4	1	1	-1	-2	1	2	1	0	2		S3	2,7288	PIR24	1	1	1	-4	788	-1	0	-1	788	S4	2,2035	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR05	-1	1	1	-2	1	2	1	0	2		S2	2,7288	PIR25	-1	0	0	-2	525	0	0	0	0	S4	2,0000	
	PIR06	1	1	-1	1	0	-3	1	-2	1		S3	2,3052	PIR26	1	0	0	2	525	0	0	0	0	S4	2,6000	
	PIR07	-1	1	1	1	0	1	1	-4	2		S3	2,6406	PIR27	1	-1	1	2	0	0	262	2	262	S2	2,0310	
	PIR08	1	-1	1	1	0	1	1	2	1		S4	1,7955	PIR28	1	1	-1	1	0	1	263	2	263	S3	1,7955	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR189	1	0	0	0	1	0	0	0	0		S1	1,5580	PIR29	1	0	0	0	525	0	0	0	0	S4	0,0000	
	PIR190	1	1	-1	-2	1	0	1	-2	2		S1	2,5986	PIR30	-1	1	1	0	788	-1	0	1	525	S4	0,8263	
	PIR191	1	-1	1	1	0	-4	0	3	1		S3	2,7934	PIR31	1	-1	1	3	0	0	263	3	262	S2	2,6461	
	PIR192	1	-1	1	3	0	4	0	1	1		S3	2,9504	PIR32	1	1	1	-2	262	0	262	2	262	S3	2,2095	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR213	1	1	-1	1	0	1	1	0	2		S2	1,9891	PIR33	1	0	0	-2	525	0	0	0	0	S4	2,0000	
	PIR214	1	1	-1	1	0	1	1	2	1		S3	1,7955	PIR34	-1	1	-1	2	525	-1	0	-1	525	S4	0,6667	
	PIR215	1	0	0	-2	1	0	0	0	0		S4	2,5352	PIR35	1	1	-1	-2	263	2	263	0	262	S1	2,2095	
	PIR216	1	-1	1	1	0	4	0	1	1		S4	2,2837	PIR36	1	-1	1	1	263	0	262	1	262	S2	1,7535	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR317	1	-1	1	1	0	0	1	1	2		S2	1,9835	PIR37	-1	0	0	0	525	0	0	0	0	S4	0,0000	
	PIR318	1	1	-1	1	0	-1	0	0	1		S3	1,4691	PIR38	1	1	1	-4	525	-1	525	1	0	S4	2,0000	
	PIR319	1	1	-1	1	0	-1	1	0	2		S3	1,9891	PIR39	1	0	0	0	263	0	0	0	0	S1	1,5580	
	PIR320	1	-1	1	1	0	-4	0	-1	1		S4	2,2837	PIR40	1	-1	1	1	0	4	0	3	263	S3	2,7934	

Tabela 3.3 - Preditores para frequência de amostragem
 $Fa = (8/3)F_{sc}$

		Fa = 4F _{sc}																								
		BIDIMENSIONAIS					TRIDIMENSIONAIS																			
Amostra Prevista	Preditor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Situação Corrigida	DP	Preditor	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Situação Corrigida	DP
Todas as Amostras (sem TAP)	PIR41	1	1	-1	4	0	-2	2	2	2		S1	4,7238	PIR43	1	0	0	0	788	0	0	0	0	0	S1	1,1690
	PIR42	-1	1	1	2	0	-2	2	0	2		S2	3,9206	PIR44	1	-1	-1	1	0	0	788	1	788	S1	1,2358	
	PIR43	-1	1	1	2	0	0	1	2	1		S3	2,4715	PIR45	1	-1	1	1	0	2	0	-1	788	S4	1,5127	
	PIR44	1	-1	1	1	0	2	0	3	0		S4	2,0000	PIR46	1	0	0	-4	0	0	0	0	0	S4	4,0000	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR045	1	1	-1	4	0	-1	1	3	1		S1	3,4887	PIR047	-1	1	1	2	0	-3	263	-1	263	S2	2,7821	
	PIR046	-1	1	1	2	0	-1	1	1	1		S2	2,3619	PIR048	1	-1	1	1	0	2	0	1	262	S3	1,8476	
	PIR047	1	1	-1	1	0	0	1	1	1		S3	1,9603	PIR049	1	0	0	0	788	0	0	0	0	S4	1,1690	
	PIR048	1	-1	1	1	0	2	0	0	1		S4	1,7793	PIR050	-1	1	1	2	0	1	525	-1	525	S4	1,3333	
Amostra em 1/30 + 2/30 (sem TAP)	PIR149	1	1	-1	4	0	-3	1	1	1		S1	3,4887	PIR142	1	1	-1	1	0	0	263	1	263	S3	1,9603	
	PIR140	-1	1	1	1	0	0	1	1	1		S3	1,9603	PIR143	1	-1	1	1	0	2	0	0	263	S4	1,7794	
	PIR141	1	1	-1	1	0	-2	1	-1	1		S3	2,2065	PIR143	1	0	0	-1	525	0	0	0	0	S4	1,5388	
	PIR142	1	-1	1	1	0	2	0	2	1		S4	2,0256	PIR144	1	0	0	0	788	0	0	0	0	S4	1,1690	

Tabela 3.4 - Preditores para frequência de amostragem
 $Fa = 4F_{sc}$