
MODULAÇÃO POR CÓDIGO DE PULSOS

Introdução

Desde o fim da década de 60, as centrais eletromecânicas começaram a ser interligadas por sistemas MCP (Modulação por Código de Pulsos) nas grandes metrópoles.

Com o advento das centrais CPA (Controladas por Programas Armazenados), a técnica MCP passou a ser empregada em grande escala nos seus estágios de linha e de seleção de grupo, além da interligação entre as centrais.

Modulação por Código de Pulsos - MCP é um processo que converte um sinal elétrico analógico em um sinal elétrico digital (zeros e uns). Esse fato isolado não é relevante. A **Multiplexação por Divisão de Tempo - MDT** que consiste em organizar um conjunto de sinais elétricos e transmiti-los num mesmo meio de transmissão (cabos multipares, cabo coaxial, fibra óptica e vácuo) o que torna interessante a MCP. Associando a MCP com a MDT, teremos um sistema de transmissão com excelente aproveitamento do meio de transmissão.

O meio de transmissão usado para a MCP de 1ª ordem e o de dois pares de cabos multipares, onde 30 conversações são moduladas em códigos de pulso e daí são multiplexadas por divisão de tempo. O fator de multiplicação, neste caso, é 15.

Os sinais analógicos convertidos em sinais digitais são, nesta forma, transmitidos e comutados.

No presente estudo veremos a conversão analógico/digital e a transmissão dos sinais digitais.

Faixa de frequências de voz usadas em telefonia

As cordas vocais do ser humano são capazes de reproduzir vibrações sonoras, dentro de uma gama de aproximadamente 100Hz a 10.000Hz. Cada som emitido é composto simultaneamente de vibrações de diversas frequências harmônicas de uma frequência fundamental das cordas vocais, razão principal da diferença entre a voz de um homem e a de uma mulher. Para o homem, esta frequência fundamental é de 125 Hz e, para a mulher, é de 250 Hz.

Outra característica importante da voz, que deve ser levada em conta, é que a maior parte da energia está concentrada nas baixas frequências, conforme pode ser observado pelo gráfico da Figura 1 a seguir (espectro médio de frequências na conversação pelas potências relativas da voz).

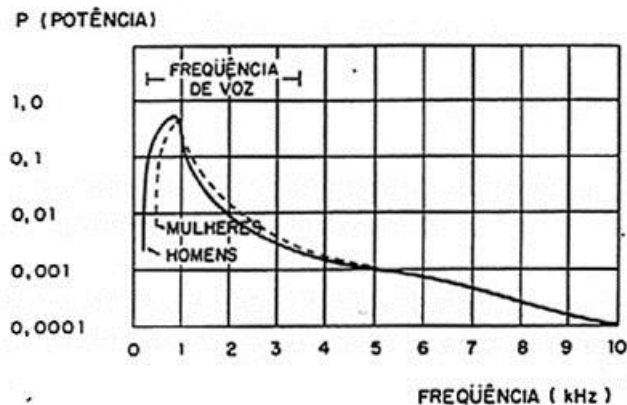


Fig. 1

Quanto a gama de freqüências audíveis pelo ouvido humano, estas vão de aproximadamente 16 Hz até 20.000 Hz. Os limites variam de pessoa para pessoa.

Para que o som possa ser percebido pelos órgãos auditivos, tem que haver uma intensidade mínima que corresponde ao limite inferior de audibilidade. Este limite varia com a freqüência, sendo que o ouvido humano tem uma sensibilidade maior em 3.000 Hz, decrescendo para freqüências mais baixas e mais altas, além do que, a percepção de variações de intensidade dos sons pelo ouvido humano não é linear.

Sob o ponto de vista econômico e de qualidade para as comunicações, diversos estudos foram realizados para determinar qual a faixa mais apropriada, levando-se em conta as características da voz e ouvido, quanto aos fatores de inteligibilidade e energia da voz.

A inteligibilidade é definida como o percentual de palavras perfeitamente reconhecidas numa conversação. Verificou-se que na faixa de 100 Hz a 1.500 Hz estava concentrada 90% da energia da voz humana, enquanto que na faixa acima de 1500 Hz estava concentrada 70% da inteligibilidade das palavras.

Baseado num compromisso entre estes dois fatores, foi escolhida a faixa de voz entre 300 Hz e 3.400 Hz para comunicações telefônicas, o que garante 85% da inteligibilidade e 68% da energia de voz recebida pelo ouvinte.

Introdução à Multiplexação por Divisão de Tempo - MDT

O Sistema Multiplex por Divisão de Tempo (MDT) utiliza o processo de amostragem dos sinais para a transmissão dos vários canais em um único meio de transmissão.

As amostras são tomadas em intervalos regularmente espaçados e com a duração bem menor que o período entre duas amostragens.

O intervalo de tempo que decorre entre duas amostras sucessivas de um sinal é utilizado para transmissão dos sinais amostrados, provenientes de outros canais.

Na Figura 2, temos um diagrama em blocos de um sistema MDT simplificado; temos também um exemplo de uma multiplexação por divisão de tempo, onde três sinais de entrada foram multiplexados.

O princípio básico do MDT é muito simples (como mostra a figura 2), onde sinais de entrada, todos de faixa limitada, são sequencialmente amostrados por uma chave rotatória que faz uma revolução completa num dado período, que é definido como período ou intervalo de amostragem (T_A).

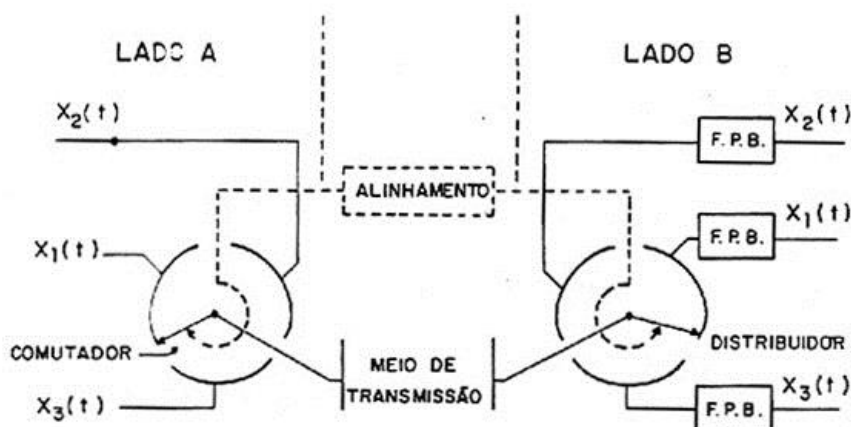


Fig. 2

Ao término de cada período de amostragem, terá sido transmitida uma amostra de cada sinal de entrada. A este conjunto de pulsos contendo uma amostra de cada entrada denominamos de quadro. Na Figura 3, por exemplo, temos um quadro com três sinais de entrada multiplexados.

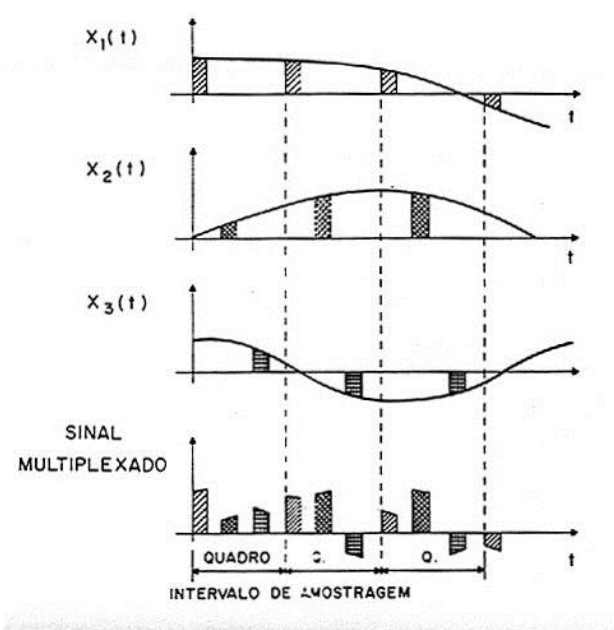


Figura 3

Na recepção (lado B, Figura 2), uma outra chave rotatória similar separa as amostras e as distribui para um conjunto de filtros passa baixa, que reconstitui o sinal original. O processo de chaveamento é eletrônico e inclui sinais de alinhamento para que o distribuidor e o comutador possam trabalhar sincronizadamente.

Neste sistema, a onda portadora é um trem-de-pulsos que pode ser modulado, de acordo com as amostras, através da variação de qualquer uma das seguintes características dos pulsos: amplitude, largura ou posição.

As técnicas mais utilizadas nos sistemas MDT são: MAP (Modulação por Amplitude de Pulso) e MCP (Modulação por Código de Pulsos). Nos sistemas que utilizam a técnica MAP, a amplitude de cada pulso representa a amplitude do sinal modulador num dado instante.

MCP (Modulação por Código de Pulsos) é o processo pelo qual um sinal é amostrado e a amplitude de cada amostra é aproximada a valores discretos (processo chamado de quantização e convertida, por um código, em um sinal digital).

MCP - Princípios gerais

Os sistemas que operam através de Modulação por Código de Pulsos (MCP) baseiam-se na possibilidade de se reconstituir integralmente um sinal $x(t)$, a partir de um certo número de amostras instantâneas, retiradas periodicamente do mesmo. Em seguida, as amostras tem seus valores aproximados a níveis previamente escolhidos, chamados de níveis de quantização, este processo denomina-se **Quantização**.

A necessidade de quantização é óbvia, pois é impossível codificar-se infinitos níveis existentes em um sinal analógico.

Após a quantização, o Sinal discreto no tempo (amostrado) e discreto em amplitude (quantizado) é codificado, formando-se assim, o sinal MCP.

Na recepção, o sinal é decodificado, sendo transformado novamente em pulso MAP, e entregue em seguida ao filtro passa baixa, que recupera o sinal $x(t)$ original.



Fig. 4

Cada etapa será estudada com maiores detalhes, a seguir.

2. MCP - 1ª ORDEM

Estudaremos o Sistema MCP utilizado na interligação de centrais telefônicas. A figura 5, mostra um sistema MCP de 1ª ordem interligando 30 juntores de saída da central A com 30 juntores de entrada da central B. Para Os juntores de entrada e de saída, o sistema MCP é transparente e substitui os 30 pares de fios que interligariam os juntores. O meio de transmissão entre os terminais MCP é constituído por um par para transmissão da central A para a B e um outro par para transmissão da central B para a A.

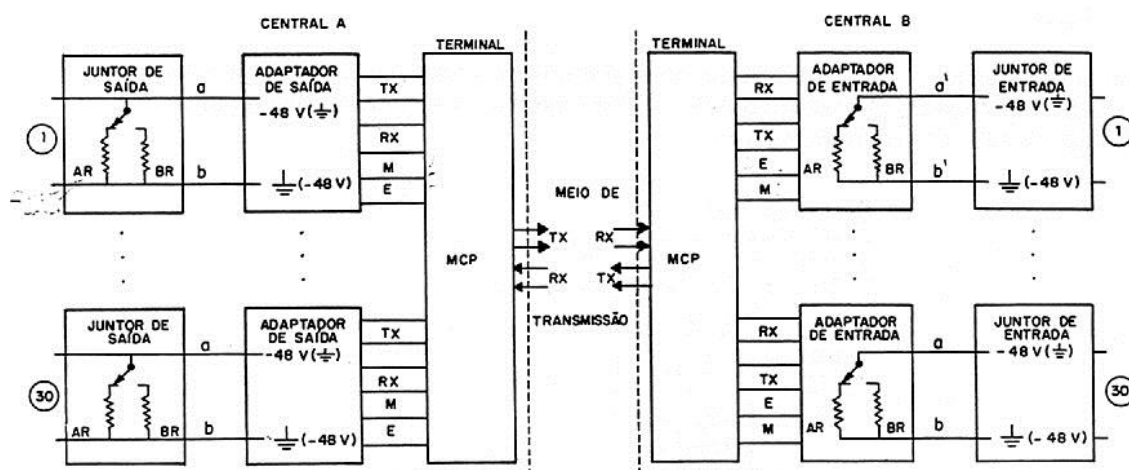


Fig. 5 - Sistema MCP de 1ª ordem

As informações que são transmitidas entre as centrais, são as seguintes:

- fonia de A para B e vice-versa
- sinalização de linha;
- sinalização de registrador (faixa de voz).

Os adaptadores, tanto de entrada quanto de saída, tem a função de fazer a conversão de dois fios para quatro (Tx) + (Rx), fornecer a sinalização de linha pelo fio M e recebe-la pelo fio E.

O fio M do adaptador, tanto de entrada quanto de saída, em condições de repouso não tem polaridade alguma. Quando há uma tomada de juntor, isto é, alteração de alta resistência para baixa resistência, o adaptador de saída coloca um terra (0 V) no fio M, que é transmitido para o fio E do adaptador de entrada correspondente e ocorre, então, a ocupação do juntor de entrada.

Quando há o atendimento do assinante B, o juntor de entrada inverte a polaridade das linhas "a" e "b" e o adaptador de entrada coloca um terra (0 V) no seu fio M, que é transmitido para o fio E do respectivo adaptador de saída e este, por sua vez, inverte as polaridades para o juntor de saída.

Quando há o desligamento do assinante A, é mudada, no juntor de saída, a baixa resistência B para alta resistência AR e o adaptador de saída retira o terra do fio M e, conseqüentemente, o respectivo adaptador de entrada altera, de baixa resistência para alta resistência.

Se o assinante B desliga antes do A, há uma nova inversão de polaridades. O adaptador de entrada retira o terra do fio M e, conseqüentemente, do fio E no adaptador de saída que faz outra inversão de polaridades para o juntor de saída.

O estudo do terminal MCP será efetuado em suas etapas.

Amostragem

O sinal analógico, antes de ser amostrado, passa por um atenuador regulável, onde o valor máximo de amplitude do sinal elétrico é de 0,2218 Volts e um filtro passa baixa limita a frequência a 3.400 Hz, conforme figura 6.

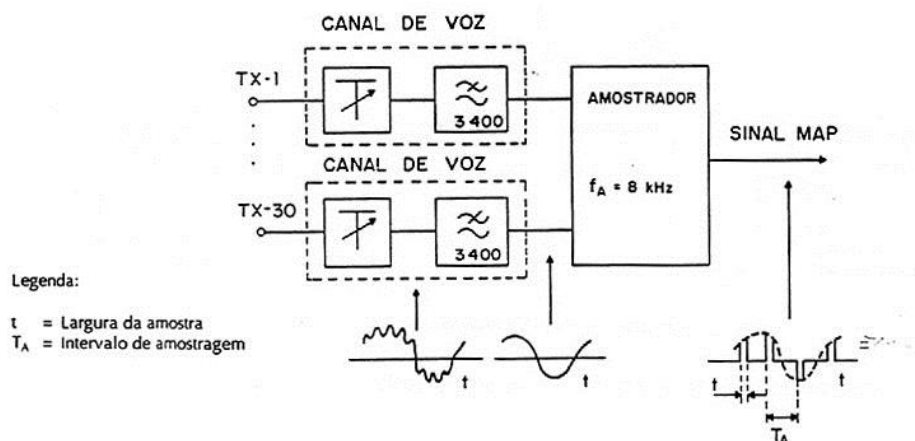


Fig. 6 - Amostragem

A onda mostrada na parte inferior da Figura 6, refere-se a apenas um canal de voz.

Para garantir que o sinal analógico seja recuperado fielmente, o teorema de amostragem especifica que a frequência de amostragem f seja maior ou igual a duas vezes a maior frequência f presente no sinal analógico.

$$f_A \geq 2 f_M$$

Como a maior frequência do sinal analógico é 3.400 Hz, foi fixado internacionalmente que a frequência de amostragem f_A seja 8.000 Hz. A Figura 7 ilustra o porque da f_A ser 8.000 Hz.

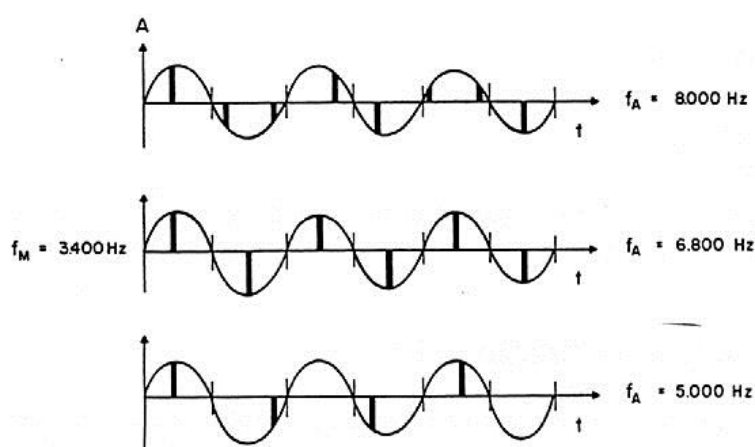


Fig. 7 - Frequências de amostragem

Com $f_A = 8.000 \text{ Hz}$ o sinal é amostrado mais de duas vezes por onda.

Com $f_A = 6.800 \text{ Hz}$ o sinal é amostrado exatamente duas vezes por onda.

Com $f_A = 5.000 \text{ Hz}$ existem meias ondas que não são amostradas, distorcendo a informação.

A Figura 8 ilustra o amostrador. São 30 chaves eletrônicas que são acionadas a cada amostragem, comandada por um relógio de 256.000 pulsos por segundo. O **IT**, significa **Intervalo de Tempo**. Os IT 0 e IT 16 são bloqueados no amostrador e isto será visto posteriormente. Os IT 1 a IT 15, correspondem as amostragens dos canais de voz de 1 a 15 e Os IT 17 a IT 31 correspondem aos canais de voz de 16 a 30.

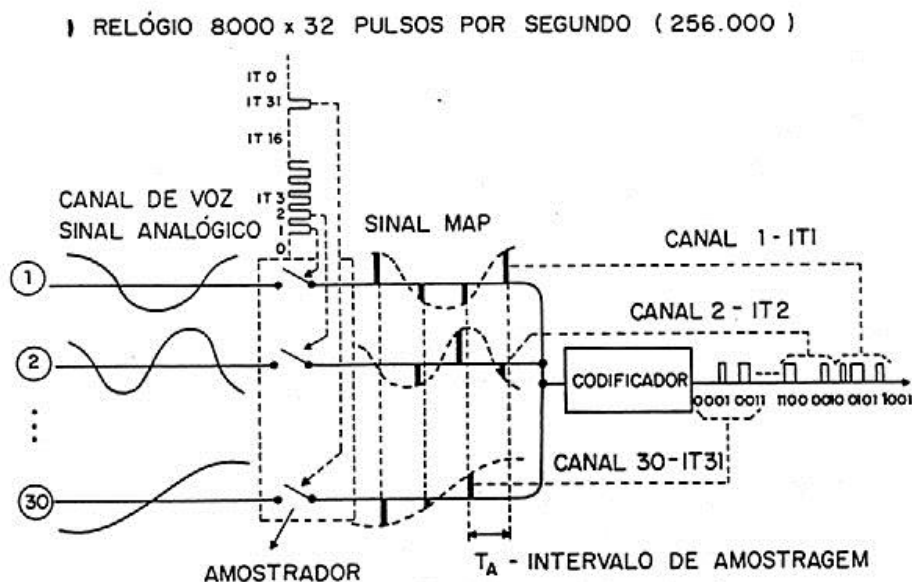


Fig. 8 - Amostragem e codificação

Cada canal de voz será amostrado 8.000 vezes por segundo. O intervalo de amostragem é calculado da seguinte forma:

$$T_A = \frac{1}{f_A} = \frac{1}{8000} = 125\mu s$$

A largura da amostra é dada por:

$$t = \frac{T_A}{32} = \frac{125\mu s}{32} = 3.9\mu s$$

Essa estrutura de intervalos de tempo emprega a técnica da multiplexação por divisão de tempo - MDT. O sinal na saída do amostrador é um sinal MAP (Modulação por Amplitude de Pulso).

Quantização, compressão e Codificação (Lei A)

Na quantização as sinais amostrados (MAP) São aproximados a valores de amplitude predeterminados. Essa aproximação gera um erro denominado **erro de quantização**, que gera um ruído no sinal, chamado **ruído de quantização**. Para que a relação sinal/ruído se mantenha constante, Os sinais de entrada são comprimidos para que isso ocorra.

Várias leis de compressão foram estudadas (logarítmica, hiperbólica e exponencial). Ver figura 9. A lei de compressão logarítmica é a que melhor atende a exigência da relação sinal/ruído de se manter constante. A etapa de quantização/compressão/codificação ocorre em um mesmo circuito integrado, denominado CODEC.

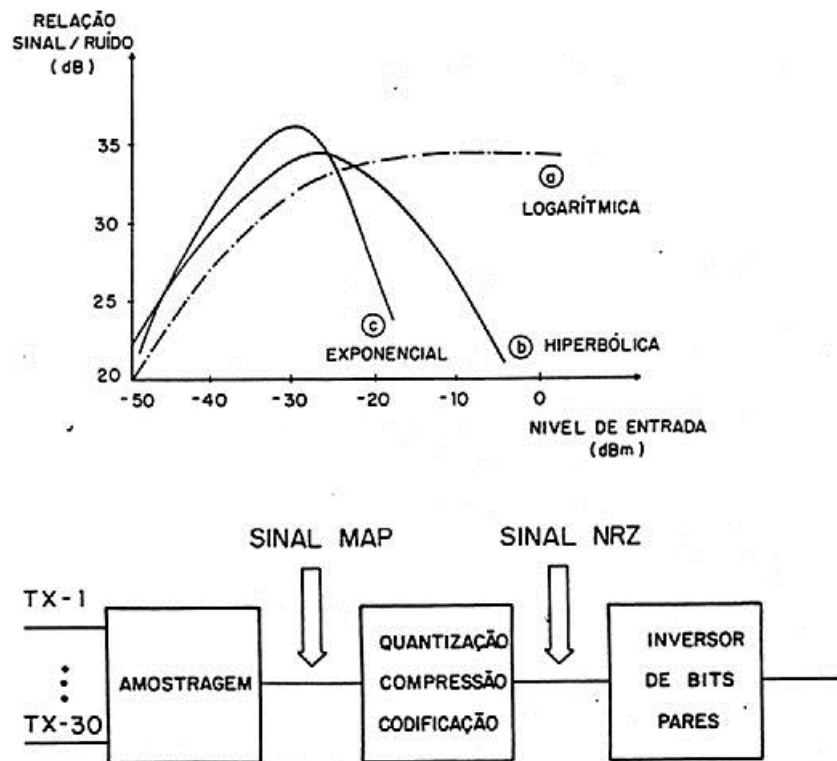


Fig. 9 – Fig. 10

A Lei A que é adotada para os sistemas de 32 canais é uma lei de compressão do tipo logarítmica, onde a curva é aproximada a 13 segmentos de reta.

A figura 11 mostra a curva característica da Lei A. Podemos notar, pelo detalhe desta

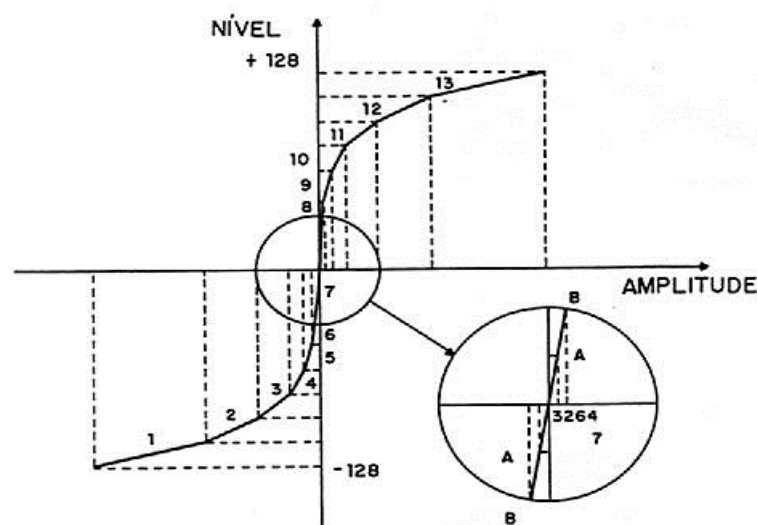


Figura 11 - Lei A

figura, que o sétimo segmento de reta possui o mesmo ângulo de inclinação tanto na parte positiva, quanto na parte negativa da curva, e que este segmento é subdividido em quatro partes.

As Figuras 12 e 13 mostram as partes positivas da Lei A aproximada a sete segmentos. Por estas figuras é possível visualizar o número de níveis de quantização que é de + 128 (para amostras positivas), e, conseqüentemente, - 128 (para amostras negativas). Os valores das amplitudes do sinal de entrada estão normalizados a 4.096 valores unitários, correspondendo a um sinal máximo de - 10,86 dBm (0,2218 V), onde o nível médio é de - 14 dBm.

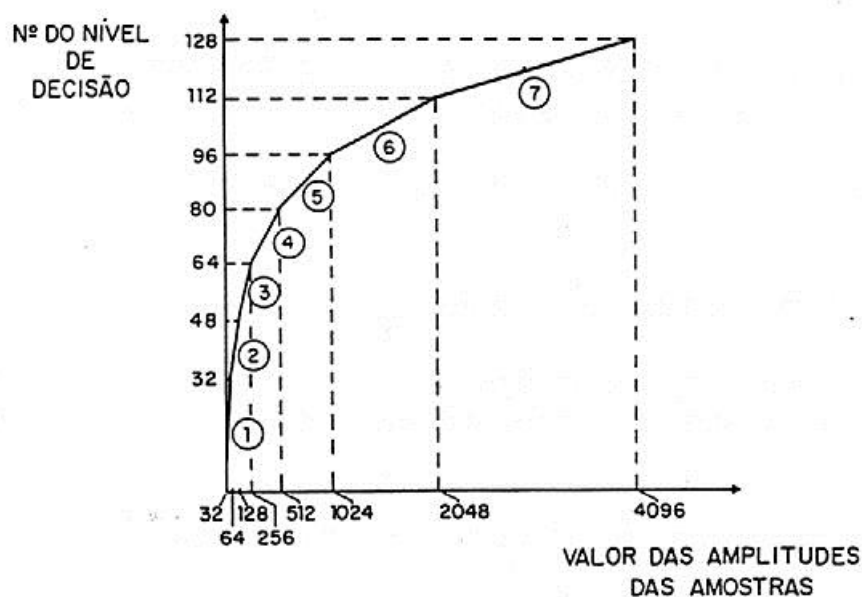


Fig. 12 - Lei A de compressão para sistemas MCP de 30 canais para valores de entrada positivos

A máxima amplitude das Amostras (0,2218 V) é dividida em 4.096 valores de $\Delta V = 0,0000541$ Volts. Como as amostras de pequena amplitude são mais freqüentes, a compressão é menor para as pequenas e mais acentuada para as grandes.

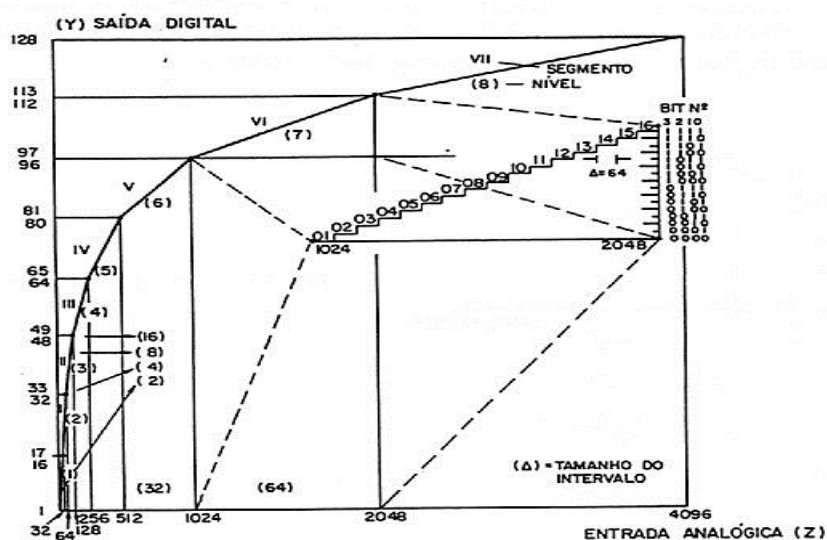


Figura 13 - Relações entre os níveis

A tabela da Figura 14 mostra a faixa de valores de amplitudes que são comprimidos para um único valor quantizado. Isso está representado em faixas de valores normalizados dentro de cada quadrado.

Exemplos:

- Primeiro quadrado: 0 a 1 - amplitudes de 0 a 0,0000541 Volts;
- Último quadrado: 3.968 a 4.096 - amplitudes de 0,2147 Volts a 0,2218 Volts.

o erro de quantização é maior nas maiores amplitudes de forma a manter constante a relação sinal/ruído.

A Lei A apresenta, ainda, as seguintes características básicas:

- 1) Cada segmento tem um mesmo número de níveis (16). O segmento tem 32 níveis (figura 13), porém ele é subdividido em duas metades, que são consideradas como dois segmentos com a mesma inclinação.
- 2) Os intervalos entre níveis dentro de um mesmo segmento são iguais.
- 3) Os intervalos em todos os segmentos são múltiplos inteiros dos intervalos contidos no primeiro segmento, correspondente as menores amplitudes, ou seja, se o primeiro segmento tiver intervalos iguais a $1/N$, o segundo deverá ter intervalos iguais a $k \times 1/N$, e assim sucessivamente.

Essas características também podem ser observadas na tabela da Figura 14 onde cada segmento e seus respectivos níveis de quantização estão codificados.

NÍVEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CODIFICAÇÃO	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
1	0 1	2 3	4 5	6 7	8 9	10 11	12 13	14 15	16 17	18 19	20 21	22 23	24 25	26 27	28 29	30 31
	32 33	34 35	36 37	38 39	40 41	42 43	44 45	46 47	48 49	50 51	52 53	54 55	56 57	58 59	60 61	62 63
2	64 67	68 71	72 75	76 79	80 83	84 87	88 91	92 95	96 99	100 103	104 107	108 111	112 115	116 119	120 123	124 127
3	128 135	136 143	144 151	152 159	160 167	168 175	176 183	184 191	192 199	200 207	208 215	216 223	224 231	232 239	240 247	248 255
4	256 271	272 287	288 303	304 319	320 335	336 351	352 367	368 383	384 399	400 415	416 431	432 447	448 463	464 479	480 495	496 511
5	512 543	544 575	576 607	608 639	640 671	672 703	704 735	736 767	768 799	800 831	832 863	864 895	896 927	928 959	960 991	992 1023
6	1024 1087	1088 1151	1152 1215	1216 1279	1280 1348	1349 1407	1408 1471	1472 1535	1536 1599	1600 1663	1664 1727	1728 1791	1792 1855	1856 1919	1920 1983	1984 2047
7	2048 2175	2176 2303	2304 2431	2432 2559	2560 2687	2688 2815	2816 2943	2944 3071	3072 3199	3200 3327	3328 3455	3456 3583	3584 3711	3712 3839	3840 3967	3968 4096
SEGMENTO																
CODIFICAÇÃO																

Fig. 14 - Tabela da Lei A para Codificação

Supondo uma amostra com valor de 182, e procurando este valor na tabela da codificação, temos o valor que o segmento a que esta amostra pertence é o 3 e o nível no qual ela será quantizada é o 7.

O valor da codificação da amostra será dado pela associação da codificação da polaridade do sinal (1 para valor positivo e 0 para amostra com valor negativo), com o segmento mais o nível do segmento. Logo, o número de *bits* utilizado é oito, sendo dado a este conjunto o nome de palavra MCP (ver Figura 15)

Nº DO BIT	7	6	5	4	3	2	1	0
	POLARIDADE		SEGMENTO		NÍVEL DO SEGMENTO			
PALAVRA MCP								

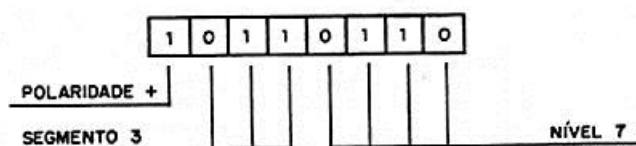
Fig. 15

Como a palavra MCP vai substituir a amostra no tempo que tem uma duração de 3,9 μ s, logicamente a palavra não deve ultrapassar esse valor, fazendo com que a duração de cada *bit* seja 488 ns (3,9 μ s/8 *bits*).

Voltando a amostra de valor igual a 182 e supondo-a positiva, a codificação associada e a palavra MCP tomada serão:

- polaridade: positiva - 1
- segmento: 3 - 011
- nível de segmento: 7 - 0110

Composição da Palavra MCP



A lei A define, ainda, que a palavra MCP. deve sofrer uma inversão dos *bits* pares para evitar uma grande sequência de zeros, sendo transmitidos quando da não existência de amostras ou com outras de pequenos valores de amplitude.

Exemplificando, se uma palavra MCP fosse codificada como 10111001, após a inversão dos *bits* pares, esta palavra seria 11101100. Na recepção da palavra MCP, antes de ocorrer a decodificação é efetuada a inversão dos *bits* pares para se obter a palavra MCP original.

Decodificação

No processo de decodificação, a palavra MCP gerará um valor normalizado que é o valor médio entre os possíveis valores que deram origem a palavra MCP. A Tabela da Figura 16 mostra quais Os valores normalizados que devem ser gerados.

NÍVEL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
DECODIFICAÇÃO		0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	
SEGMENTO DECODIFICAÇÃO	1	000	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
	2	010	66	70	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	114	118	122	126
	3	011	132	140	148	156	164	172	180	188	196	204	212	220	228	236	244	252
	4	100	264	280	296	312	328	344	360	376	392	408	424	440	456	472	488	504
	5	101	528	560	592	624	656	688	720	752	784	816	848	880	912	944	976	1008
	6	110	1056	1120	1184	1248	1312	1376	1440	1504	1568	1632	1696	1760	1824	1888	1952	2016
	7	111	2112	2240	2368	2496	2624	2752	2880	3008	3136	3264	3392	3520	3648	3776	3904	4032

Fig. 16 - Lei A para decodificação

Fig. 16 - Lei A para decodificação

A título de exemplo suponha que a palavra MCP 11101101 foi recebida pelo decodificador. Este gerará em sua saída uma amostra positiva com valor normalizado igual a 1888, apesar de que a palavra MCP representa na codificação valores normalizados desde 1856 a 1919.

Estrutura de quadro

O **quadro** é definido como sendo um conjunto de pulsos contendo uma amostra de cada entrada. No sistema MCP de 32 canais o quadro vai representar a conjunto de 32 palavras MCP de oito *bits*, sendo 30 palavras correspondentes a entradas de fonia e duas palavras correspondentes a outras informações.

Para facilitar a localização de informações dentro do quadro, convencionou-se chamar o tempo ocupado por cada palavra de 8 *bits* (3,9 μ s), de **intervalo de tempo (IT)** ou **intervalo de tempo de canal (ITC)**, numerando-se estes de zero a 31. Logo, podemos definir o quadro do sistema MCP de 32 canais, como sendo a conjunto de 32 intervalos de tempo, numerados de 0 a 31, com duração de 125 μ s.

IT 0	IT 1	IT 2	IT 31
------	------	------	-------	-------

Figura 17 - Quadro

Faz-se necessário, nos sistemas MCP, um sinal de sincronismo que garanta a perfeita distribuição das amostras no lado distante. No sistema MCP de 32 canais este sinal é extremamente importante, vista que a velocidade de transmissão dos dados codificados, que é

dados pelo produto total de *bits* no quadro ($8 \text{ bits} \times 32 \text{ IT} = 256 \text{ bit/quadro}$), pela frequência de repetição do quadro (8000 vezes/segundo) ou seja, 2.048 kbit/s.

A palavra de 8 *bits*, chamada de palavra (ou figura) de alinhamento de quadro, que será multiplexada no IT 0 (zero), tem justamente a finalidade de sincronizar as informações contidas no quadro (IT 1 a IT 31), sendo transmitida em quadros alternados, e vale:

NÚMERO DOS BITS DO IT 0							
7	6	5	4	3	2	1	0
Ri	0	0	1	1	0	1	1

Ri - Bit reservado para uso internacional (fixado em 1 no Brasil)

O *bit* reservado para uso internacional, não é monitorado na recepção do sistema quando é verificada a condição da palavra de alinhamento de quadro.

O intervalo de tempo zero (IT 0) dos quadros onde não está presente a palavra de alinhamento de quadro (10011011), será utilizado para transmissão de alarmes ao equipamento da estação terminal distante, a fim de, uma vez detectada uma falha na estação local, a estação remota pare de processar também informações vindas do meio externo.

Estes oito *bits* são padronizados internacionalmente e valem:

NÚMERO DOS BITS IT 0							
7	6	5	4	3	2	1	0
Ri	1	A1	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn

Ri - Bit reservado para uso internacional (fixado em 1 no Brasil).

A1 - Bit para transmissão de alarme internacionalmente quando em:

0 - equipamento será alarme (funcionamento normal)

1 - equipamento com alarme (em falha).

Rn - Bits destinados ao uso nacional, não podendo ser usados em rotas digitais internacionais.

Portanto, o IT 0 poderá ser ocupado por duas informações, dependendo do quadro, ou seja:

QUADRO	NÚMERO DE BITS DO IT 0							
	7	6	5	4	3	2	1	0
PAR	Ri	0	0	1	1	0	1	1
ÍMPAR	Ri	1	A1	Rn	Rn	Rn	Rn	Rn

A perda da figura de alinhamento de quadro, deve ser identificada pelos equipamentos terminais, através da recepção de **três palavras de alinhamento incorretas consecutivas**. Isto deverá iniciar um processo de realinhamento produzir um alarme de perda de alinhamento.

O alinhamento será restaurado se, e somente se, recebermos duas palavras de alinhamento de quadro corretas e consecutivas separadas por 250 segundos.

A Figura 19 ilustra este processo, onde temos um conjunto de nove quadros com três palavras de alinhamento consecutivas incorretas $\begin{pmatrix} p \\ s \\ q \end{pmatrix}$ e duas palavras de alinhamento consecutivas corretas $\begin{pmatrix} p \\ s \\ q \end{pmatrix}$ bem como a condição do funcionamento do equipamento.

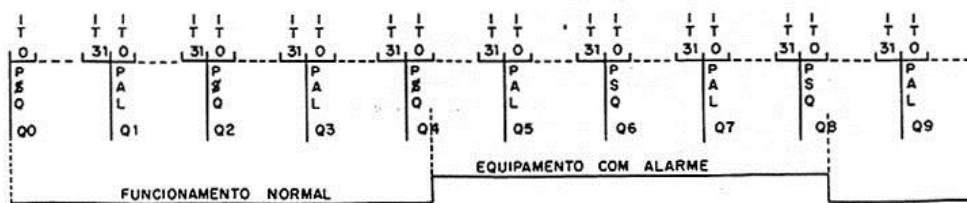


Fig. 19

Estrutura de Multiquadro

Tipos de sinalizações

Os equipamentos MCP, devem multiplexar além das informações de fonia e alinhamento, as sinalizações de linhas referentes aos canais. Atualmente, Os sistemas MCP utilizam Os seguintes tipos de sinalização de linha:

- E + M Contínua
- F + M Pulsada
- R2 Digital.

Os três tipos de sinalizações utilizam o ITC 16 para a transmissão de sinalização. Como os *bits* do ITC 16 estão rigidamente associados a cada canal de voz, a esta forma de sinalização denominamos, genericamente, de sinalização por canal associado. Há uma outra forma de sinalização, denominada sinalização por canal comum, utilizando igualmente o ITC 16, mas sem a associação rígida dos *bits*. Vejamos com mais detalhes a sinalização por canal associado.

A condição de sinalização presente no **fio M** é de **um terra** ou **não-terra** (aberto), que deve ser amostrado, codificado e multiplexado no tempo.

Nos equipamentos MCP, temos a possibilidade de utilizar dois fios **M**, um com frequência de amostragem a 500 Hz ou 1.000 Hz, chamado de sinalização **M1** ou **A** e o segundo fio **M**, com frequência de amostragem a 500 Hz chamado de fio **M2** ou **B**.

Quanto a codificação, esta é bem simples, pois como são possíveis duas condições no fio M (terra ou aberto), estas serão codificadas com apenas um *bit*, veja figura 20.

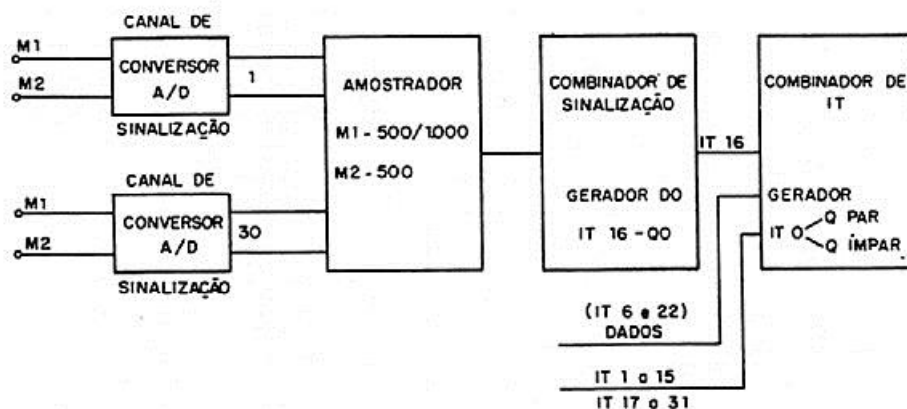
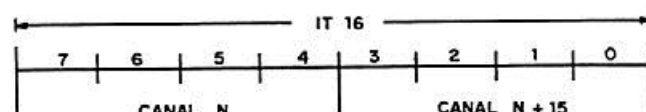


Fig. 20 - Sinalização associada a canal

Utilização do intervalo de tempo

Uma vez fixada a frequência de amostragem de 500 Hz temos definido o período de amostragem de 2 ms, onde são encaixadas as sinalizações das vias A e B dos 30 canais.

O intervalo de tempo utilizado é CIT 16 e como em 2 ms temos 16 destes intervalos, faz-se necessário a colocação de, no mínimo, dois canais por IT 16, resultando na seguinte configuração:



Os *bits* 5, 6, 7 são reservados para as vias A e B dos canais de 1 a 15, enquanto Os *bits* 1, 2, 3 são reservados para os canais 16 a 30. Os *bits* 0 e 4 são fixados em 1.

Composição do Multiquadro

O multiquadro é definido como sendo o conjunto de 16 quadros, com duração de 2 ms, numerados de Q0 a Q 15 onde estão todas as informações de sinalização. Dependendo do tipo de frequência de amostragem da via A (500 Hz ou 1.000 Hz) temos uma tabela de distribuição dos *bits* do IT 16 dos quadros de 0 a 15.

A figura 21 mostra a tabela quando as vias A e B são amostradas a 500 Hz, enquanto na figura 22, a tabela ilustra a composição dos *bits* para a via A a 1.000 Hz e via B a 500Hz.

QUADRO Nº		NÚMERO DO BIT NO INTERVALO DE TEMPO 16							
		7	6	5	4	3	2	1	0
2 ms	0	0	0	0	0	1	x	1	1
	1	A 1	B 1	0	1	A 16	B 16	0	1
	2	A 2	B 2	0	1	A 17	B 17	0	1
	3	A 3	B 3	0	1	A 18	B 18	0	1
	4	A 4	B 4	0	1	A 19	B 19	0	1
	5	A 5	B 5	0	1	A 20	B 20	0	1
	6	A 6	B 6	0	1	A 21	B 21	0	1
	7	A 7	B 7	0	1	A 22	B 22	0	1
	8	A 8	B 8	0	1	A 23	B 23	0	1
	9	A 9	B 9	0	1	A 24	B 24	0	1
	10	A 10	B 10	0	1	A 25	B 25	0	1
	11	A 11	B 11	0	1	A 26	B 26	0	1
	12	A 12	B 12	0	1	A 27	B 27	0	1
	13	A 13	B 13	0	1	A 28	B 28	0	1
	14	A 14	B 14	0	1	A 29	B 29	0	1
	15	A 15	B 15	0	1	A 30	B 30	0	1

Fig. 21 - Distribuição dos *bits* para: CANAL A - 500 Hz
CANAL B - 500 Hz

QUADRO Nº		NÚMERO DO BIT NO INTERVALO DE TEMPO 16							
		7	6	5	4	3	2	1	0
2 ms	0	0	0	0	0	1	x	1	1
	1	A 1	B 1	A 8	1	A 16	B 16	A 23	1
	2	A 2	B 2	A 9	1	A 17	B 17	A 24	1
	3	A 3	B 3	A 10	1	A 18	B 18	A 25	1
	4	A 4	B 4	A 11	1	A 19	B 19	A 26	1
	5	A 5	B 5	A 12	1	A 20	B 20	A 27	1
	6	A 6	B 6	A 13	1	A 21	B 21	A 28	1
	7	A 7	B 7	A 14	1	A 22	B 22	A 29	1
	8	A 8	B 8	A 15	1	A 23	B 23	A 30	1
	9	A 9	B 9	A 1	1	A 24	B 24	A 16	1
	10	A 10	B 10	A 2	1	A 25	B 25	A 17	1
	11	A 11	B 11	A 3	1	A 26	B 26	A 18	1
	12	A 12	B 12	A 4	1	A 27	B 27	A 19	1
	13	A 13	B 13	A 5	1	A 28	B 28	A 20	1
	14	A 14	B 14	A 6	1	A 29	B 29	A 21	1
	15	A 15	B 15	A 7	1	A 30	B 30	A 22	1

Fig. 22 - Distribuição dos *bits* para: CANAL A - 1.000 Hz
CANAL B - 500 Hz

Figura 22 - Distribuição dos *bits* para: CANAL A - 1000 Hz CANAL B - 500Hz

Observando as figuras 21 e 22, no quadro de numero zero, encontramos nos oito *bits* do intervalo de tempo 16, duas informações importantes para o perfeito funcionamento da parte de sinalização, que são:

- a) **Palavra de alinhamento de multiquadro** - Esta palavra é composta dos *bits* 4 a 7 do IT 16 do quadro 0 valendo 0000 e cuja finalidade é a sincronização do lado distante para a separação e distribuição das sinalizações dos canais, contidas nos quadros subsequentes do multiquadro.
- b) **Palavra de alarme de multiquadro** - Compare-se esta palavra dos *bits* de 0 a 3 do IT 16 do quadro zero valendo 1A₂11, e cuja finalidade é a de informar a estação remota de falhas no processo de sinalização. Quando o *bit* 2 valer 0 (zero) indica funcionamento normal e se este valer 1, o equipamento está com falha ou alarme.

Perda e recuperação do alinhamento de multiquadro

Pode ocorrer no terminal distante uma perda de alinhamento de multiquadro, que será notada quando duas palavras de alinhamento de multiquadro chegarem incorretas construtivamente. Nesta condição o equipamento deve interromper o processamento das informações de sinalização, indicando um alarme referente a esta falha.

O alinhamento é restabelecido a partir do momento em que uma palavra correta de sincronismo aparecer.

Estrutura final

Resumindo, podemos montar uma estrutura padrão para o MCP de 1ª ordem. Na Figura 23 temos esta estrutura, onde:

- **Quadro**

Composição: 32 intervalos de tempo

Duração: 125 μs

Numeração dos ITs no quadro: de ITO a IT 31

- **Intervalo de tempo**

Composição: 8 *bits*

Duração: 3,9 μs

Conteúdo: IT 0 - QUADROS (par): 10011011 (Palavra de alinhamento de quadro)

IT 0 - QUADROS (impar): 11A₁1111 (palavra de alarme)

IT 1 a 15: Amostras codificadas dos canais 1 a 15

IT 16 - QO: 00001A₂11 (palavra de alinhamento de multiquadro + alarmes de multiquadro)

IT 16 - Q1 a Q15: Sinalização dos canais de 1 a 30, vias A e B (ver tabelas, figuras 21 e 22)

IT 17 a 31 - Amostras codificadas dos canais de 6 a 30

- **Multiquadro**

Composição: 16 quadros

Duração: 2 ms

Numeração dos quadros no multiquadro: de QO a Q15

• Transmissão de dados

Velocidade: 64 kbit/s

Intervalo de tempo utilizado: 6 e/ou 22

Observação: Só é possível a transmissão de dados externos nos intervalos de tempo 6 e / ou 22 no lugar dos canais de voz 6 e 21. A velocidade 6 de 64 kbit/s ou é definida como o produto dos 8 bits do intervalo pela frequência de recepção do intervalo ($8 \text{ bits} \times 8.000 \text{ vezes/segundo} = 64 \text{ kbit/s}$).

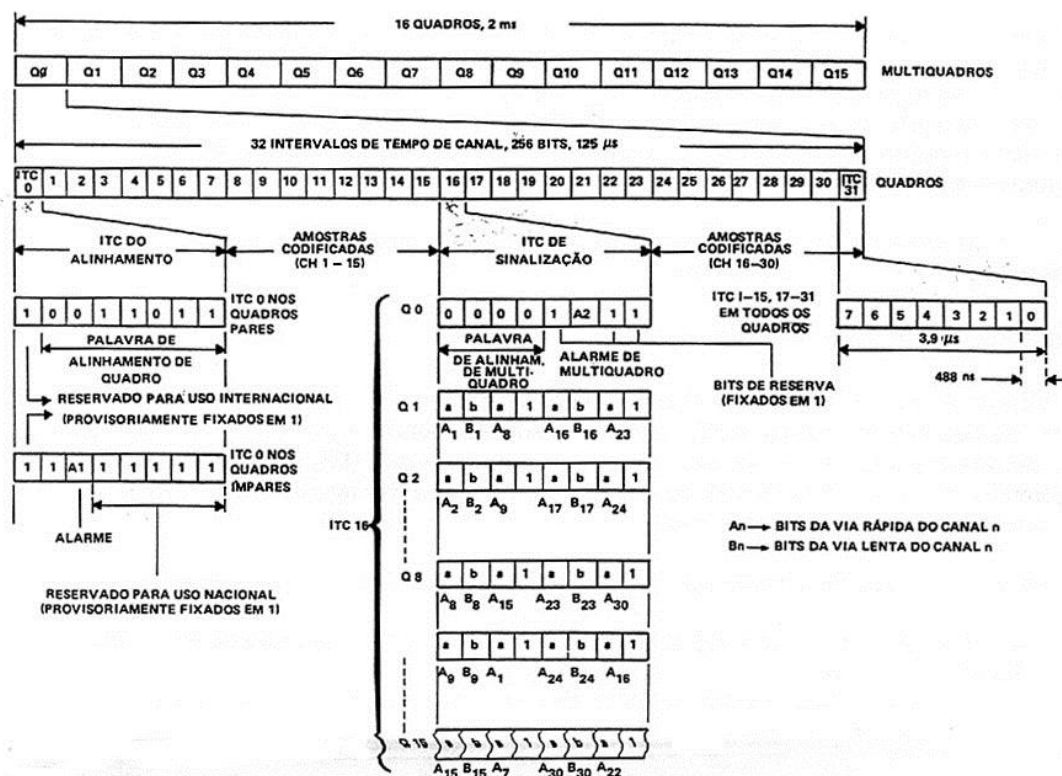


Fig. 23 - Estrutura final do MCP de 1ª ordem

CODIFICAÇÃO DE LINHA

Antes de ser inserido na linha, um sinal MCP deve passar por uma nova codificação, chamada codificação de linha.

Essa codificação é feita devido as seguintes razões:

- A linha que transporta o sinal MCP deve, simultaneamente, transportar a alimentação CC aos regeneradores de linha. Esta alimentação é feita através de um circuito fantasma que obriga a utilização de transformadores para acoplar o sinal MCP à linha. Portanto, torna-se necessário que a codificação de linha não contenha componente contínua, pois os transformadores bloqueariam a componente.

- b) A energia no código de linha na região de baixa frequência deve ser a menor possível. isto reduz a interferência dos sistemas MCP com as linhas de voz que ocupam um mesmo cabo.
- c) A máxima densidade espectral de energia do sinal MCP deve ser concentrada na frequência do relógio (metade da frequência de repetição dos *bits*), pois é esta a mais importante componente para a correta regeneração dos pulsos nos repetidores de linha.
- d) Também na região de altas frequências (ao redor da frequência de repetição dos *bits*), a densidade espectral do sinal MCP deve ser baixa, a fim de tornar mínimos Os efeitos de diafonia entre sistemas MCP.

Vários códigos de linha foram desenvolvidos visando obter tais resultados. Dois deles, muito usados na prática, serão por nós descritos.

Código AMI (*Alternate Mark Inversion*)

A codificação AMI usada no MCP de 1ª ordem, consiste em tornar o sinal binário, chamado também de **Não Retorno a Zero (NRZ)**, devido às MARCAS (pulsos 1) permanecerem 100% do tempo de *bit* (ver Figura 24) em um sinal bipolar com **retorno a zero (RZ)**, isto é, cada marca é transformada em espaço durante 50% do seu tempo de duração (ver Figura 25) e as marcas tem suas polaridades invertidas alternadamente.

Portanto, podemos resumir a codificação AMI em dois tens que são:

- a) Tornar o sinal NRZ em um sinal RZ, fazendo com que as marcas de duração de 488 ns passem a ter duração de 244 ns.
- b) INVERTER AS MARCAS ALTERNADAMENTE, de forma que duas marcas consecutivas tenham polaridades opostas.

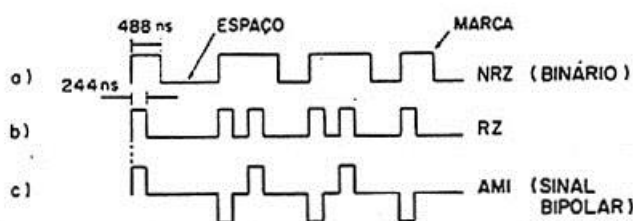


Fig.24 - Codificação AMI

Esse código elimina a componente CC no sinal e sua densidade espectral de energia é mostrada na Figura 25.

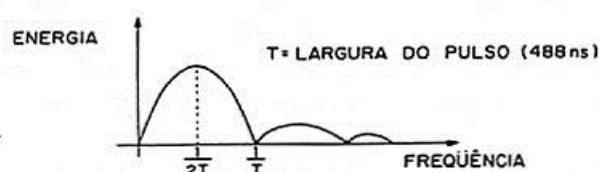


Fig. 25 - Densidade espectral código AMI

A decodificação de um sinal em código AMI, consiste basicamente em tornar o sinal bipolar (Rz) em unipolar RZ e, posteriormente, em unipolar NRZ

Código HDB-3 (High Density Bipolar -3)

A finalidade dos códigos denominados HDB é limitar o número de zeros em uma sequência.

Uma sequência grande de zeros pode reduzir o componente espectral na frequência do relógio a um valor muito pequeno, tornando difícil ou mesmo impossível a sua recuperação nos repetidores de linha.

Quando o sistema MCP for constituído apenas por canais de voz, essa sequência é pouco provável, uma vez que na saída do codificador temos um inversor de *bits* pares para evitar a sequência de zeros. Entretanto, quando vários canais de transmissão de dados são usados simultaneamente, com canais de voz, sua probabilidade não é desprezível.

O código HDB-3 trabalha como a AMI, a menos da limitação do número de zeros em sequência que será, no máximo, de três zeros consecutivos.

5. DIAGRAMA EM BLOCOS DE MCP - 1ª ORDEM - GENÉRICO

Para visualizarmos como um sistema MCP de 1ª ordem processa as informações, observando os conceitos até agora vistos, descreveremos sucintamente o diagrama em blocos de um sistema genérico, ilustrado na Figura 26.

As informações de fonia são levadas através dos pares de transmissão (TX), as unidades chamadas de canal de voz.

Os canais de voz, que são em números de 30, tem a finalidade de proporcionar um ajuste no nível do sinal, de forma a possibilitar, na entrada do amostrador, o nível máximo de 10,86 dBm. Bem como limitar a faixa de frequência em 3.400 Hz, evitando possíveis interferências no processo de amostragem.

Uma vez limitadas em nível e frequência, as informações de fonia presentes em cada canal, são amostradas na frequência de 8 kHz no circuito denominado amostrador, sendo estes pulsos (MAP) levados ao codificador.

O codificador, a partir de cada amostra, realiza o processo de quantização em ± 128 níveis, compressão segundo a Lei A e codificação em 8 *bits*.

A codificação referente à amplitude da amostra passa por um inversor de bits pares, a fim de evitar uma grande sequência de zeros. Logo na saída do circuito chamado de Inversor de Bits Pares, temos um sinal binário, NRZ referente aos intervalos de tempo de 1 a 15 e 17 a 31.

Paralelamente, as informações de sinalização do tipo terra ou aberto estão presentes nos fios M1 ou M2 dos canais de sinalização de 1 a 30. Estas informações passam através de um conversor analógico/digital, transformando-as em níveis lógicos, e são levadas ao amostrador.

O amostrador realiza a amostragem dos fios M, podendo esta ser em 1000 Hz ou 500 Hz para o fio M1 e 500 Hz para o fio M2.

As amostras, por sua vez, são encaminhadas ao circuito combinador de sinalização que tem por função, gerar a palavra de sincronismo + de multiquadro (0000) e alarme (1A₂1 1) a

ser inserido no IT 16 do QO, e associar as amostras colhidas, formando a estrutura padronizada do IT 16 dos quadros de 1 a 15.

Essas informações, juntamente com os sinais dos ITs 1 a 15 e 17 a 31 e, eventualmente, dados de computador, são encaminhadas ao circuito Combinador de IT, a partir do IT 0 dos quadros Q_n e $Q_n + 1$, gerados nele próprio. Todas as informações são combinadas (de IT 0 até IT 31) neste circuito, formando a estrutura multiplexada no tempo dos sistemas MCP de 1ª ordem com uma taxa de transmissão de 2.048 kbit/s em um sinal binário NRZ.

O Codificador de Linha, a partir deste sinal NRZ, realiza a codificação em AMI ou HDB-3, enviando, agora, um sinal bipolar RZ para o meio de transmissão.

Na parte de Recepção, o sinal bipolar AM ou HDB-3, 2.048 kbit/s, é levado ao Decodificador de Linha, que o decodifica, de forma a obtermos na saída do decodificador, um sinal 2.048 kbit/s, binário, NRZ, que é entregue ao circuito Separador de IT.

O circuito Separador de IT analisa o IT 0 dos quadros Q_n e $Q_n + 1$, detectando o alinhamento de quadro e alarme remoto. Em seguida, separa as informações dos ITs 1 a 15 e 17 a 31 para a inversor de *bits* pares e o IT 16 para o Separador de Sinalização.

No circuito inversor de *bits* pares, o código dos ITs 1 a 15 e 17 a 31, voltam a seus

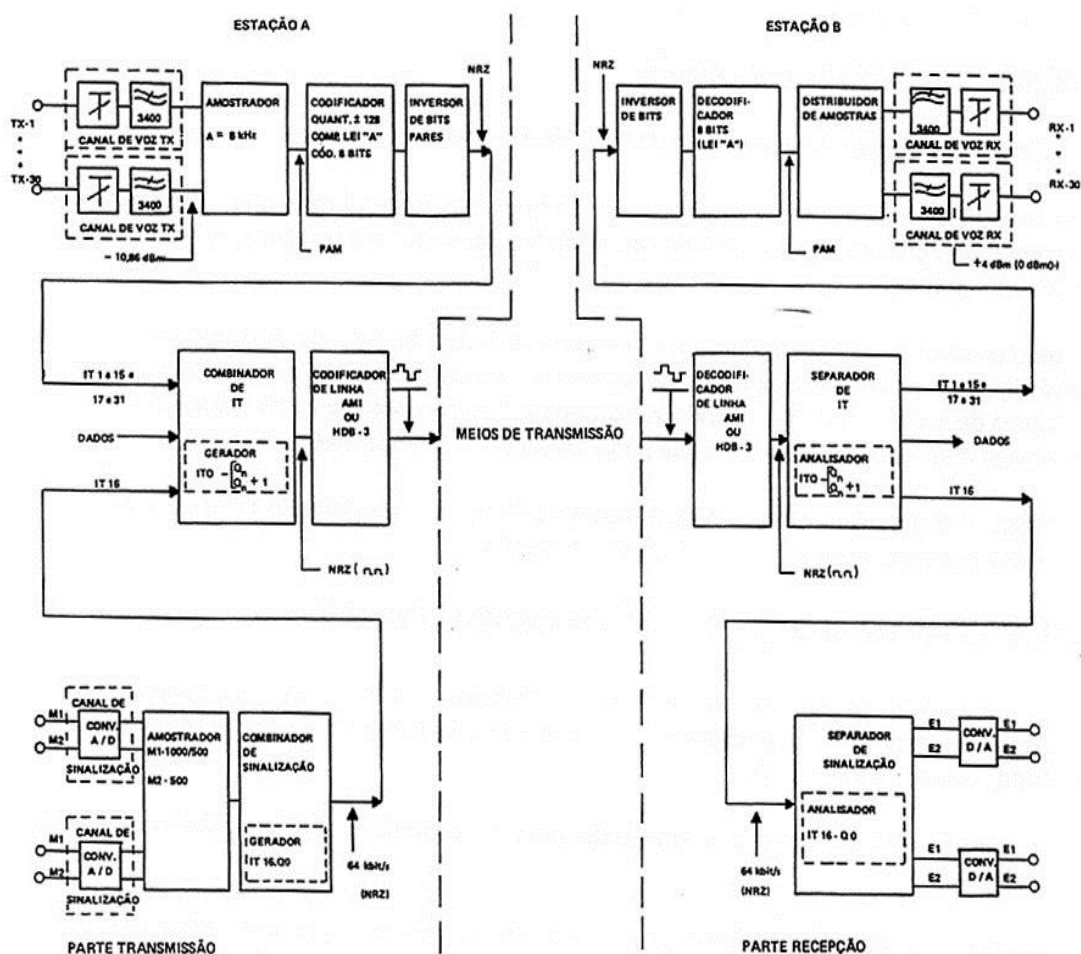


Fig. 26

valores iniciais, e sendo levados ao decodificador de 8 *bits*, cada código será transformado numa amostra segundo a Lei A.

As amostras seriais utilizadas entregues ao circuito distribuidor de amostras, serão distribuídas aos canais de voz lado de Rx. No canal, passando-se estas por um FILTRO passa baixa em 3.400 Hz, obtemos o sinal original com um nível máximo de +4 dBm.

Através de atenuadores, o nível do sinal é ajustado e estão presentes no par de Rx ao lado da estação B.

No circuito Separador de sinalização, o IT 16 do quadro zero é detectado, extraíndo-se o alinhamento e analisada a palavra de alarme. Em seguida as informações digitais das vias A e B dos canais 1 a 30, são separadas para Os correspondentes fios El e E2, que passando pelos conversores digital-analógicos presentes nos canais de sinalização sentido recepção, nos dá a condição de terra ou aberto nos respectivos fios El e E2 dos canais de 1 a 30.

Nota-se do exposto, que a descrição acima refere-se ao processamento das informações da estação A para B. No sentido contrário o processamento é idêntico, e a estação B devesse ter todos os circuitos que a estação A continha e vice-versa. Ressaltamos que, além dos circuitos descritos, os sistemas tem unidades que auxiliam a execução do processo, tais como;

- fonte de alimentação;
- unidade de alarme;
- circuitos geradores de ondas de controle.

6. REGENERADORES E TAXA DE ERRO

Os equipamentos MCP necessitam, para que as informações multiplexadas consigam chegar até uma localidade distante e vir desta, um meio de transmissão.

Os pares físicos pertencentes aos cabos troncos da rede telefônica são o meio de transmissão utilizado, devido a estes apresentarem grandes vantagens técnico-econômicas, como por exemplo:

- aproveitamento de cabos precários, devido à imunidade a ruído dos sistemas digitais;
- maior aproveitamento dos cabos, pois dois pares permitem a comunicação bidirecional de 30 canais;
- alta eficiência, confiabilidade e qualidade de transmissão.

Os sinais digitais MCP trafegando nos pares, sofrem distorções devido, principalmente, a diafonia e atenuação, portanto, a certas distancias faz-se necessária a recuperação destes sinais, com a completa eliminação dos ruídos introduzidos, a que chamamos de regeneração.

Sistema de Regeneração

Devido à atenuação introduzida pela linha e aos ruídos presentes na mesma, faz-se necessário restaurar completamente o sinal digital e injeta-lo novamente na linha com o mesmo formato que tinha ao sair do equipamento terminal, limpo de qualquer ruído. O equipamento que realiza esta função, denomina-se regenerador de pulsos de linha, ou simplesmente, regenerador.

Para que um regenerador de pulsos de linha execute as funções acima mencionadas com o máximo de precisão possível, é necessária que ele possua uma série de características elétricas, as quais passaremos a descrever.

O regenerador é composto dos seguintes circuitos:

- circuito de entrada;
- circuito de alimentação;
- circuito extrator de relógio;
- circuito de decisão;
- circuito de saída.

A Figura 27 ilustra o diagrama em blocos de um regenerador

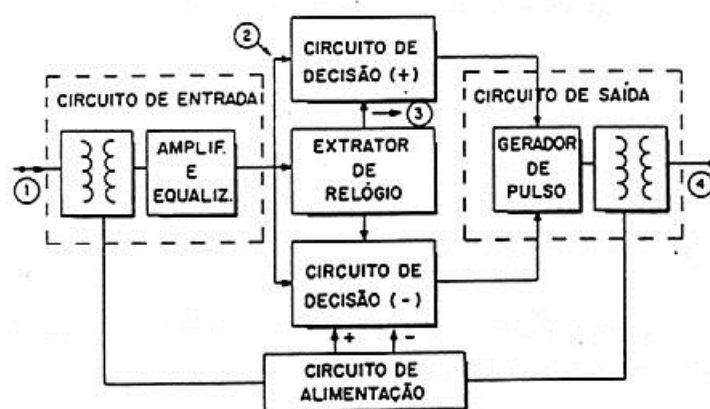


Fig. 27

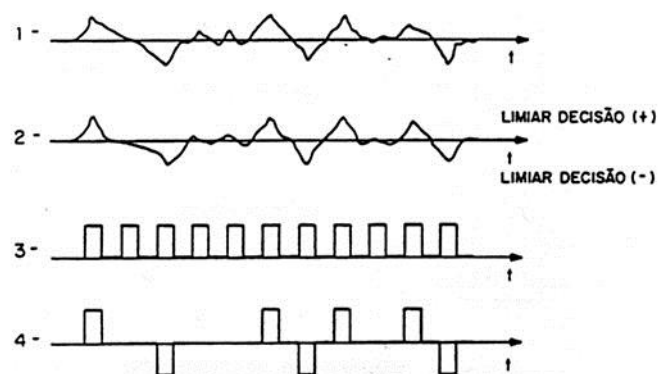


Fig. 28

O circuito de entrada ao receber o sinal digital todo distorcido "1", vindo do meio de transmissão, desacopla este, da alimentação presente no par.

A alimentação é levada ao circuito de alimentação, que fornece uma tensão contínua e constante para o funcionamento dos circuitos digitais. A descrição detalhada deste circuito será vista posteriormente.

O sinal digital passa por um circuito amplificador e equalizador que compensa a atenuação do cabo, fornecendo em sua saída um sinal "2" com o nível adequado para os circuitos de decisão (+), (-) e extrator de relógio.

O circuito extrator de relógio retira do sinal "2" um relógio que está sincronizado com o sinal de entrada. Este relógio de 2.048 kHz "3", servirá para a ativação dos circuitos de decisão.

Os circuitos de decisão (+) ou (-), a partir do sinal de entrada equalizador "2", do relógio "3" e de limiares de decisão, enviarão um comando para o circuito gerador de pulsos, se e somente se, a amplitude do sinal de entrada equalizado ultrapassar o limiar de decisão e estiver acontecendo o relógio de 2.048 kHz.

No circuito de saída o gerador de pulso forma pulsos (+) ou (-) a partir de comandos vindos dos circuitos de decisão (+) ou (-), respectivamente, com largura de 244 ns, que serão levados ao meio de transmissão, juntamente com a alimentação, pelo transformador acoplador de saída.

A descrição acima mostrou o regenerador recuperando o sinal de apenas um sentido de transmissão. Para o outro sentido é necessário outro conjunto de circuitos idêntico aos descritos.

Pode-se representar os circuitos do regenerador pelos símbolos indicados na figura 29, podendo estes serem:

- unidirecional - regenera apenas um sentido e acopla o sinal no outro sentido;
- bidirecional - regenera ambos os sentidos.

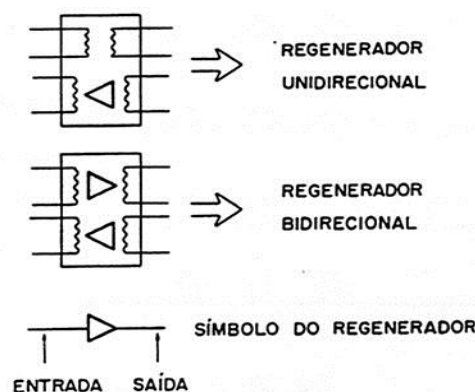


Fig. 29

Taxa de Erro

Definimos taxa de erro como sendo a razão entre o número de bits errados e o número total de *bits* recebidos.

O aparecimento de um pulso espúrio ou o desaparecimento de um verdadeiro, implica na introdução de um erro.

Devido as características do meio de transmissão, o pulso chega ao regenerador com amplitude reduzida e deformado. O problema do regenerador é determinar se, num dado

instante, a pulso está ou não presente. Tal decisão é bastante afetada pelo ruído superposto ao sinal recebido e pode levar a uma decisão errada. Ver figura 30.

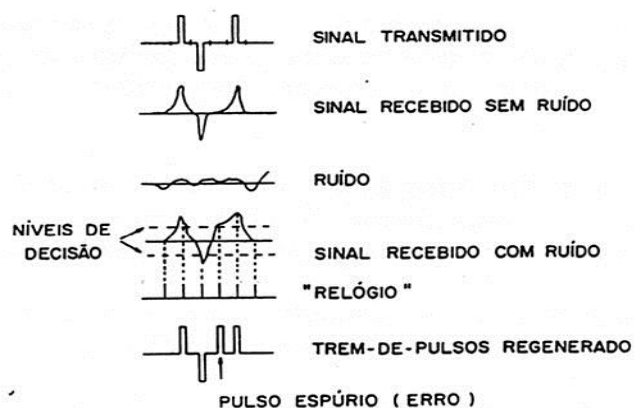


Fig. 30

A taxa de erro é uma medida importante nas linhas de transmissão digital, pois indicam a qualidade destas.

Por normalização, a taxa de erro é considerada aceita e, se esta é melhor que um *bit* errado em cada um milhão de *bits* recebidos, que indicamos por 1 em 10^6 ou 1×10^{-6} , e considerada crítica indicando que o equipamento deve interromper o funcionamento quando esta for pior que um erro em cada 1.000 *bits* recebidos, que indicamos por 1 em 10^3 ou 1×10^{-3} .

Como exemplo, calcularemos a taxa ou erro de uma linha, onde após um período de medição de 10 minutos com um instrumento detector de erros constatou-se que a quantidade de *bits* errados recebidos era de 1.000.

Para sabermos qual é a taxa de erro devemos, primeiramente, calcular o total de *bits* recebidos em 10 minutos, que é:

1 segundo $\Rightarrow 2 \times 10^6$ *bits* (2.048 kbit/s)

10 minutos $\Rightarrow 600$ segundos \times *bits* recebidos, logo:

$600 (\times \text{bits recebidos}) = 1.200 \times 10^6$ *bits*

Para determinarmos a taxa de erro basta aplicar a fórmula:

$$\text{Taxa de erro} = \frac{\text{número de bits errados}}{\text{total de bits recebidos}}$$

$$\text{Taxa de erro} = \frac{1000}{1200 \times 10^6}$$

Taxa de erro = $0,8 \times 10^{-6}$ indicando que a qualidade da linha é aceitável, pois a taxa encontrada é melhor que 1×10^{-6} .

Os aparelhos detectores de erros de transmissão no caso de MCP de 1ª ordem, identificam os erros ao constatar que a codificação AMI ou HDB-3 usada foi violada. Quando Os terminais MCP são dotados desta supervisão, o equipamento dá alarme quando a taxa de erro atingir um erro em 10^5 *bits* transmitidos.