

TRANSMISSÃO de DADOS e MODEM

Fabio Montoro.

TRANSMISSÃO DE DADOS E MODEM

Fabio Montoro

RHEDE Tecnologia S.A.
Brasília - DF.

C O N T E U D O

PÁGINA

		PÁGINA
1	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	1.1
1.1	SINAL ELETRICO	1.4
1.1.1	REPRESENTAÇÃO NO TEMPO	1.4
1.1.2	POTENCIA DO SINAL	1.6
1.1.3	REPRESENTAÇÃO EM FREQUENCIA	1.9
1.1.4	FILTROS	1.10
1.2	SINAL DE VOZ	1.12
2	SISTEMA TELEFONICO	2.1
2.1	CANAL DE VOZ	2.1
2.2	LINHA TELEFONICA	2.2
2.2.1	LINHA COMUTADA	2.2
2.2.2	LINHA PRIVATIVA	2.5
2.3	DEGENERACOES DO SINAL	2.6
2.3.1	DISTORCAO DE AMPLITUDE	2.7
2.3.1.1	PAR FISICO	2.8
2.3.1.2	LINHA CONDICIONADA	2.11
2.3.1.3	LINHA TELEFONICA GENERICA	2.13
2.3.2	DISTORCAO DE RETARDO	2.14
2.3.3	RUIDO BRANCO	2.23
2.3.4	RUIDO IMPULSIVO	2.24
2.3.5	OSCILACAO DA AMPLITUDE	2.25
2.3.6	OSCILACAO DA FASE	2.25
2.3.7	TRANSLACAO DE FREQUENCIA	2.26
2.3.8	ECO	2.28
2.3.9	DISTORCAO HARMONICA	2.30
3	TRANSMISSAO DE DADOS DIGITAIS	3.1
3.1	MEIO DE TRANSMISSAO : LINHA TELEFONICA	3.6
3.2	MODULACAO	3.9

4 MODEM	4.1
4.1 MODEM ANALÓGICO	4.3
4.1.1 MODEMS ASSÍNCRONOS V21 E V23	4.5
4.1.2 MODEMS SÍNCRONOS V26, V27 e V29	4.12
4.1.3 MODEMS SÍNCRONOS/ASSÍNCRONOS V22 E V22bis ..	4.27
4.1.4 DESEMPENHO DO MODEM ANALÓGICO	4.35
4.1.4.1 DESEMPENHO COM RUIDO	4.42
4.1.4.2 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE E FASE ASSIMÉTRICAS	4.44
4.1.4.3 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE ASSIMÉTRICA E FASE QUASE SIMÉTRICA	4.46
4.1.4.4 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE ASSIMÉTRICA E FASE SIMÉTRICA	4.47
4.1.4.5 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE E FASE SIMÉTRICAS	4.49
4.2 MODEM DIGITAL	4.50
4.2.1 DESEMPENHO DO MODEM DIGITAL	4.55
4.3 INTERFACE RS232-C	4.58
4.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS	4.58
4.3.2 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	4.60
4.3.3 DEFINIÇÃO DOS SINAIS	4.61
4.3.3.1 CIRCUITOS DE DADOS	4.62
4.3.3.2 CIRCUITOS DE SÍNCRONISMO	4.63
4.3.3.3 CIRCUITOS DE CONTROLE	4.63
4.3.3.4 CIRCUITOS DE TESTE	4.66
4.3.4 PROTOCOLO DE INTERFACE	4.67
4.3.4.1 RETARDO RTS-CTS	4.70
4.4 RESPOSTA AUTOMÁTICA	4.72
4.4.1 MODEM RESPOSTA	4.73
4.4.2 MODEM ORIGEM	4.74
4.5 DISCAGEM AUTOMÁTICA	4.75
4.5.1 DISCAGEM POR COMANDO DIRETO NO DTR	4.75
4.5.2 DISCAGEM POR NÚMERO ARMAZENADO	4.76
4.6 MICROMODEM	4.78
5 FACILIDADES DE TESTE DO MODEM	5.1
5.1 ENLACES	5.1
5.1.1 ENLACE ANALÓGICO	5.1
5.1.2 ENLACE DIGITAL	5.3
5.2 GERADOR DE SEQUÊNCIA	5.5
5.3 MEDIDOR DE TAXA DE ERRO	5.6
5.4 GERADOR DE CONSTELAÇÃO	5.8

6	SISTEMAS DE TRANSMISSÃO	6.1
6.1	TOPOLOGIA	6.2
6.1.1	UDA	6.5
6.1.2	UDD	6.6
6.1.3	MULTIPLEXADOR POR DIVISÃO DO TEMPO (TDM)	6.7
6.1.3.1	TRANSDATA	6.8
6.1.4	MULTIPLEXADOR ESTATÍSTICO (STAT MUX)	6.11
6.1.5	MULTIPLEXADOR POR DIVISÃO DE FREQUÊNCIA (FDM)	6.13
6.1.6	MODEM COM MUX	6.16
6.2	CÓDIGOS	6.17
6.2.1	DETECÇÃO DE ERROS	6.24
6.3	PROTOCOLO	6.27
6.4	CIRCUITO PONTO-A- PONTO	6.30
6.4.1	EXEMPLO DE UM CIRCUITO PONTO-A- PONTO	6.36
6.4.2	MODEM DUPLEX OU SEMI-DUPLEX ?	6.37
6.4.3	LINHA COMUTADA OU TRANSDATA ?	6.38
6.5	CIRCUITO MULTIPONTO	6.40
6.5.1	POLL-SELECT	6.41
6.5.2	TEORIA DAS FILAS	6.42
6.5.2.1	FILA UNI-SERVIDOR	6.43
6.5.2.2	FILA MULTI-SERVIDOR	6.50
6.5.3	MULTIPONTO UNI-SERVIDOR	6.53
6.5.4	EXEMPLO DE UM CIRCUITO MULTIPONTO	6.59
6.5.5	MULTISERVIDOR COM PERDA DE CHAMADA	6.62
6.6	ESTUDO DE CASOS	6.65
6.6.1	PTO-A-PTO A 2 FIOS COM MODEMS REPETIDORES	6.65
6.6.2	CIRCUITO FLORENCIO	6.68
6.6.3	AUTOMAÇÃO BANCÁRIA	6.69
7	A ESCOLHA DO MODEM	7.1
7.1	CUSTO/BENEFÍCIO	7.3
7.2	MTBF	7.7
7.2.1	UM MÉTODO SIMPLES PARA CALCULAR MTBF	7.10
7.2.2	DISPONIBILIDADE	7.12
7.3	MODEMS RHEDE	7.13
7.3.1	BENEFÍCIOS	7.15
7.3.2	RETARDOS	7.18
A	APÊNDICES	A.1
A.1	PSK BINÁRIO - MODULAÇÃO POR DESLOCAMENTO DA FASE	A.2
A.2	PSK BINÁRIO - DEMODULAÇÃO	A.11
A.3	QAM : MODULAÇÃO E DEMODULAÇÃO	A.14
A.4	RANDOMIZADOR E DESRANDOMIZADOR	A.18
A.5	GLOSSÁRIO	A.23
A.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	A.34

ÍNDICE DAS FIGURAS

	PÁGINA
Fig.1.1 : Sistema de comunicação	1.1
Fig.1.2 : 1º exemplo de sistema	1.2
Fig.1.3 : 2º exemplo de sistema	1.3
Fig.1.4 : Sinal elétrico - domínio do tempo	1.5
Fig.1.5 : Sinal senoidal	1.5
Fig.1.6 : Atenuação e amplificação	1.7
Fig.1.7 : Atenuação e amplificação (dB)	1.8
Fig.1.8 : Sinal elétrico qualquer	1.10
Fig.1.9 : Filtros	1.11
Fig.1.10 : Densidade espectral do sinal de voz	1.12
Fig.1.11 : Faixa de audio	1.17
Fig.2.1 : O telefone e a central	2.3
Fig.2.2 : Discagem do número 53	2.5
Fig.2.3 : Par físico - modelo 1	2.8
Fig.2.4 : Par físico - modelo 2	2.9
Fig.2.5 : Resposta em frequência : fios 0,4 e 0,65 mm	2.10
Fig.2.6 : Linha pupinizada	2.11
Fig.2.7 : Efeito do condicionamento	2.11
Fig.2.8 : Gabarito LPCD tipo N	2.15
Fig.2.9 : Gabarito LPCD tipo C	2.16
Fig.2.10 : LPCD tipo B	2.17
Fig.2.11 : Gabarito 3002 - USA	2.18
Fig.2.12 : Gabarito C1 - USA	2.19
Fig.2.13 : Gabarito C2 - USA	2.20
Fig.2.14 : Gabarito C4 - USA	2.21
Fig.2.15 : Gabarito M89 - PTT - França	2.22
Fig.2.16 : Ruído branco	2.23
Fig.2.17 : Ruído impulsivo	2.24
Fig.2.18 : Multiplexação por divisão de frequência	2.26
Fig.2.19 : Híbrida	2.28
Fig.2.20 : Eco	2.29
Fig.3.1 : Caractere assíncrono	3.3
Fig.3.2 : Caractere síncrono	3.3
Fig.3.3 : Transmissão serial	3.4
Fig.3.4 : Ligação de duas máquinas digitais	3.5
Fig.3.5 : Utilização do modem	3.6
Fig.3.6 : Sequência de dados	3.7
Fig.3.7 : Modulações FSK e DPSK	3.9
Fig.3.8 : Taxas de transmissão e modulação	3.10
Fig.3.9 : Espectros FSK e QAM	3.13
Fig.3.10 : Fator de filtragem	3.13
Fig.3.11 : Representação de um símbolo	3.16
Fig.3.12 : DPSK - 2 símbolos	3.16
Fig.3.13 : DPSK - 4 e 8 símbolos	3.17
Fig.3.14 : QAM - 16 símbolos	3.18
Fig.3.15 : Modulação QAM	3.18

Fig.4.1	: Modulador FSK	4.5
Fig.4.2	: Espectro V21	4.6
Fig.4.3	: Modem assíncrono (V21 e V23)	4.7
Fig.4.4	: Espectro V23	4.8
Fig.4.5	: Histerese do DCD	4.10
Fig.4.6	: Demodulador FSK	4.11
Fig.4.7	: Modulador QAM	4.12
Fig.4.8	: Modem síncrono (V26, V27 e V29)	4.13
Fig.4.9	: Constelações e espectro V26	4.15
Fig.4.10	: Constelações e espectro V27	4.17
Fig.4.11	: Constelações e espectro V29	4.19
Fig.4.12	: AGC	4.20
Fig.4.13	: Curvas - equalizadores fixos	4.22
Fig.4.14	: Equalizador digital adaptativo	4.23
Fig.4.15	: Demodulador QAM	4.24
Fig.4.16	: PLL	4.25
Fig.4.17	: Modem síncrono/assíncrono (V22 e V22bis)	4.28
Fig.4.18	: Constelações e espectro V22	4.30
Fig.4.19	: Constelações e espectro V22bis	4.33
Fig.4.20	: Simulador de canal - distorção do tipo F	4.37
Fig.4.21	: Simulador de canal - distorção do tipo C	4.38
Fig.4.22	: Simulador de canal - distorção do tipo A	4.38
Fig.4.23	: Gráfico de desempenho	4.40
Fig.4.24	: Montagem para teste	4.42
Fig.4.25	: Montagem para teste	4.44
Fig.4.26	: Distorção de amplitude : 8km de linha	4.45
Fig.4.27	: Montagem para teste	4.46
Fig.4.28	: Montagem para teste	4.47
Fig.4.29	: Distorção de fase : SC = [4,4,0]	4.48
Fig.4.30	: Distorção de fase : SC = [6,6,0]	4.48
Fig.4.31	: Montagem para teste	4.49
Fig.4.32	: Distorção de amplitude : SC=[4,4,4] e 8km de linha	4.49
Fig.4.33	: Codificações em banda-base	4.51
Fig.4.34	: Espectros dos códigos banda-base	4.52
Fig.4.35	: Alcance de modem banda-base	4.57
Fig.4.36	: Circuito de interface	4.58
Fig.4.37	: Conector RS232-C	4.60
Fig.4.38	: Protocolo da interface RS232-C	4.69
Fig.4.39	: Sequências de treinamento	4.71
Fig.4.40	: Temporizações da resposta automática	4.73
Fig.4.41	: DTR comanda o relé de discagem	4.75
Fig.4.42	: Discagem do número 134	4.76
Fig.5.1	: Enlaces mudam o curso dos dados	5.4
Fig.5.2	: Gerador de sequência	5.5
Fig.5.3	: Medição da taxa de erro	5.7
Fig.5.4	: Visualização da constelação	5.8
Fig.5.5	: Degenerações mais comuns	5.9

PÁGINA

Fig.6.1	: Sistema de teleprocessamento	6.2
Fig.6.2	: Tipos de circuito	6.3
Fig.6.3	: Exemplos de topologia	6.4
Fig.6.4	: Multiponto com UDA	6.5
Fig.6.5	: Multiponto com UDD	6.6
Fig.6.6	: Ponto-a-ponto com TDM	6.7
Fig.6.7	: Transdata - Centro Brasília	6.10
Fig.6.8	: Utilização da faixa de grupo com FDM e TDM	6.14
Fig.6.9	: Transmissão via satélite - um exemplo	6.15
Fig.6.10	: Código Morse	6.19
Fig.6.11	: Código Baudot	6.20
Fig.6.12	: Código ASCII	6.21
Fig.6.13	: Código EBCDIC	6.22
Fig.6.14	: Código BRASCII	6.23
Fig.6.15	: Detecção de um erro	6.24
Fig.6.16	: Geração do bit de paridade	6.25
Fig.6.17	: Formato do protocolo BSC	6.28
Fig.6.18	: BSC em ponto-a-ponto	6.29
Fig.6.19	: Temporizações ponto-a-ponto	6.33
Fig.6.20	: Eficiência x comprimento do bloco	6.35
Fig.6.21	: Queda da eficiência com a taxa de erro	6.35
Fig.6.22	: Custo Transdata x Linha comutada	6.39
Fig.6.23	: Circuito multiponto	6.40
Fig.6.24	: Poll-select a 4 fios	6.41
Fig.6.25	: Fila de atendimento	6.42
Fig.6.26	: Fila uni-servidor	6.43
Fig.6.27	: Tempo de espera em fila uni-servidor	6.46
Fig.6.28	: Fila multi-servidor	6.50
Fig.6.29	: Tempo de espera em fila multi-servidor	6.51
Fig.6.30	: Multiponto uni-servidor	6.53
Fig.6.31	: Tempo de resposta x nº de terminais (BSC)	6.56
Fig.6.32	: nº de terminais x Mm para tr=3s (BSC)	6.57
Fig.6.33	: nº de terminais x Mm para tr=10s (BSC)	6.57
Fig.6.34	: Tempo de resposta x RTSCTS (BSC)	6.58
Fig.6.35	: Probabilidade de perda de chamada	6.63
Fig.6.36	: Consulta por linha comutada	6.63
Fig.6.37	: Pto-a-pto a 2 fios com modems repetidores	6.67
Fig.6.38	: Circuito Florêncio	6.68
Fig.6.39	: Automação bancária : sistema "on-line"	6.70
Fig.7.1	: Probabilidade de falha e MTBF	7.8
Fig.7.2	: Modems Rhede	7.14

Fig.A.1	: Modulação PSK 2 fases - 1 Ω Modelo	A.3
Fig.A.2	: Modulação PSK 2 fases - 2 Ω Modelo	A.4
Fig.A.3	: Modulação PSK binária	A.5
Fig.A.4	: Sinal v(t)	A.6
Fig.A.5	: Modulador PSK 2 fases - 3 Ω Modelo	A.10
Fig.A.6	: Espectros	A.12
Fig.A.7	: Demodulador PSK - 2 fases	A.13
Fig.A.8	: Formas de onda - demodulador PSK 2 fases	A.13
Fig.A.9	: Modulação QAM	A.14
Fig.A.10	: Demodulação QAM	A.15
Fig.A.11	: Filtragem na demodulação	A.16
Fig.A.12	: Randomização e desrandomização	A.18
Fig.A.13	: Princípio da randomização	A.19
Fig.A.14	: Polinômio do randomizador	A.20

PREFACIO

Transmitir dados digitais é transmitir uma certa informação codificada em dígitos binários.

Digamos que essa informação seja, por exemplo, todo o texto deste livro (excluindo-se as figuras, aliás, um trabalho que devo ao Robson e ao Paulinho por me substituir incontáveis palavras), o qual possui cerca de 365000 caracteres (letras, algarismos, sinais).

Suponha que todo o texto se encontra armazenado na memória de um computador digital, e que cada caractere, codificado, ocupe 10 posições de memória, ou seja, 10 bits (dígitos binários). Portanto, o texto, desta forma, é um conjunto de três milhões seiscentos e cinquenta mil bits.

Suponha, agora, que o computador tenha condições de transmitir esses bits, sob forma de sinal elétrico, pela linha telefônica, de Brasília para outro computador localizado no Rio de Janeiro, de modo semelhante à uma conversa telefônica.

A que velocidade seria razoável efetivar esta transmissão?

Se fosse transmitido 1 bit a cada segundo (1 bit por segundo = 1 bps) seriam precisos mais de três milhões de segundos, ou seja, cerca de 34 dias para transmitir todo o texto!

De imediato podemos concluir que a velocidade de 1 bps é muito lenta e melhor seria enviar uma cópia pelo correio pois a informação levaria dois ou três dias para ir de uma cidade a outra!

Veja o que aconteceria com o tempo da transmissão, se ela fosse efetivada a velocidades maiores :

Velocidade	Tempo
1 bps	34 dias
75 bps	14 horas
1200 bps	50 minutos
2400 bps	25 minutos
4800 bps	12 minutos
9600 bps	6 minutos

Agora já podemos encontrar velocidades razoáveis!

Naturalmente a última opção é a mais atraente, mas será possível conseguir essa velocidade de transmissão pela linha telefônica? O computador é capaz de transmitir diretamente os dados digitais pela linha telefônica? Existe algum equipamento transmissor? De que forma seria feita a transmissão?

São perguntas que pretendo responder ao longo deste trabalho, onde abordo aspectos básicos da transmissão de dados pela linha telefônica.

Adianto que, atualmente, sem dificuldades, pode-se transmitir dados digitais pela linha telefônica a velocidades que variam de 75 a 9600 bps (aproximadamente de 7 a 960 caracteres por segundo) utilizando um equipamento de comunicação conhecido como MODEM.

Há dez anos, quando direcionei meu interesse para a área de transmissão de dados, o modem era um equipamento praticamente desconhecido no Brasil. Somente modelos importados podiam ser encontrados, nos grandes usuários, e seus preços chegavam à exorbitante quantia de U\$30.000,00 !

A situação atual é bem diferente (só a Embratel possui cerca de 60.000 modems instalados), mas tendo em vista a importância do Modem nas comunicações digitais, como reserva de passagens, automação bancária, transmissão de textos, consultas a bancos de dados, etc, eu diria que ele ainda é muito pouco conhecido.

Este trabalho reune os tópicos básicos dos cursos introdutórios sobre "Transmissão de dados" e "Modem", que ministramos atualmente na Rhede, tanto para os colegas de trabalho quanto para representantes e clientes.

Ao dar forma final ao texto procurei torná-lo um pouco mais leve e menos dependente das explanações em sala de aula, tomando a liberdade de redigi-lo na primeira pessoa do singular, me dirigindo simplesmente a você.

Fabio de Azevedo Montoro

Brasília, 15 de janeiro de 1988

1 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Um sistema de comunicação tem a finalidade de transportar uma certa informação de um ponto chamado "fonte" para outro chamado "usuário", através de um meio de comunicação.

No modelo ilustrado na figura abaixo, procuro sintetizar esta ideia simplificada de um sistema de comunicação.



Fig.1.1 : Sistema de comunicação

A informação pode ser de qualquer natureza e ter qualquer forma e conteúdo. Desde que o sistema seja capaz de transportá-la de um ponto a outro, mantendo sua inteligibilidade, fica caracterizada a comunicação.

Você pode ver, pela figura 1.1, que os elementos básicos de um sistema são:

- | | |
|---------------------|---|
| Fonte da informação | - quem gera a informação a ser transportada para o outro ponto. |
| Transmissor | - quem tem a tarefa de transmitir, de forma adequada, através do meio de comunicação disponível. |
| Meio de comunicação | - meio físico por onde deve passar a informação. |
| Receptor | - quem recebe a informação transmitida pelo transmissor e a traduz para a forma desejável ao usuário. |
| Usuário | - quem utiliza a informação. |

Um exemplo bem simples seria o de uma pessoa falando para outra, conforme mostra a figura abaixo.

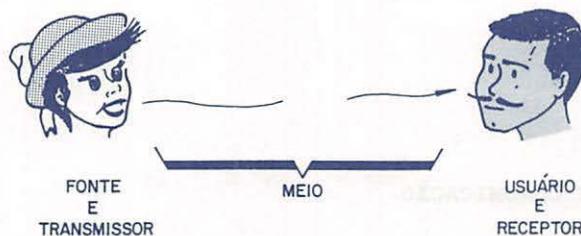


Fig.1.2 : 1º exemplo de sistema

Neste caso, a pessoa da esquerda é a fonte e o transmissor, pois ela gera e transmite a informação por meio de ondas sonoras.

O meio de comunicação é o espaço que permite a transmissão das vibrações sonoras, e a pessoa da direita é o receptor e usuário.

Para que seja caracterizado um sistema de comunicação, o usuário deve "entender" o que está recebendo !

Por mais óbvio que possa parecer agora, gostaria de salientar alguns problemas que poderiam dificultar ou até mesmo impedir tal comunicação :

1. A pessoa da esquerda fala em uma língua completamente desconhecida para a outra.
2. Elas estão longe o suficiente para que não seja possível ouvir direito o que a pessoa da esquerda está falando.

3. Elas estão longe mas a pessoa da esquerda está utilizando uma corneta para amplificar o som. No entanto, sua voz fica tão fanhosa que o usuário, apesar de escutar não consegue identificar bem as palavras.
4. Elas estão perto de uma pista de aviação e o ruído provocado pelos aviões impede o usuário de entender bem o que está sendo falado.

Você acabou de ver, neste exemplo simples, os quatro problemas mais comuns em um sistema de comunicação :

1. Código - deve ser tal que fonte/transmissor e usuário/receptor se entendam, ou seja, o código deve ser de conhecimento mútuo.
2. Atenuação - o meio de comunicação introduz perda no sinal transmitido, ou seja, ele atenua o sinal. Se esta atenuação for muito grande, o receptor pode não conseguir recuperar o sinal transmitido.
3. Distorção - Apesar do sinal chegar com um nível satisfatório, está tão distorcido que sua recuperação fica muito difícil.
4. Ruído - o meio de comunicação pode introduzir ruído, que chega junto com o sinal transmitido.
Chama-se de ruído a todo sinal indesejável que seja somado ao sinal original transmitido. Se o nível de ruído for grande, comparado com o do sinal, torna-se muito difícil recuperar o sinal original.

Passarei agora a outro exemplo, um pouco mais completo, porém igualmente simples : uma pessoa falando para outra, por telefone.

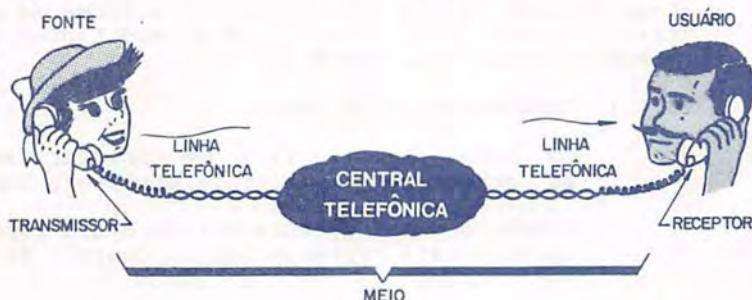


Fig.1.3 : 29 exemplo de sistema

Neste caso, você já pode distinguir fonte, transmissor, meio, receptor e usuário.

O sinal gerado pela pessoa da esquerda (fonte) são vibrações sonoras. Essas vibrações são transformadas, pelo telefone transmissor, em vibrações elétricas (sinal elétrico).

O sinal elétrico é transmitido pelo meio de comunicação, que inclui as linhas telefônicas e a central de comutação telefônica.

Do outro lado, o sinal elétrico é transformado em vibração sonora pelo telefone receptor e finalmente a informação chega ao usuário.

Mencionei no início do capítulo, que a informação pode ser de diversas naturezas, apesar de ter dado um único exemplo nos casos analisados : a voz humana.

Existe, no entanto, uma diferença substancial nos dois exemplos : no primeiro, a voz passou pelo meio de comunicação sob forma de vibrações mecânicas e no segundo sob forma de sinal elétrico.

Podemos dizer, então, que o sistema telefônico permite a transmissão de informação, cuja natureza é a voz humana, sob forma de sinal elétrico.

Será que esse sistema é capaz de transmitir informação de outra natureza, como por exemplo música ou dados de computador? Em caso afirmativo, como isto pode ser realizado e quais são as limitações impostas pelo sistema?

Pretendo, justamente, ao longo deste trabalho, responder a essas perguntas.

1.1 SINAL ELÉTRICO

Para que uma certa informação seja transmitida pelo sistema telefônico ela deve estar sob a forma de sinal elétrico. Convém rever alguns pontos importantes sobre esse assunto, antes de prosseguirmos.

1.1.1 REPRESENTAÇÃO NO TEMPO

Um sinal elétrico fica bem caracterizado quando se conhece sua variação de amplitude com o tempo.

Quando o sinal é representado desta forma diz-se que ele está representado no domínio do tempo.



Fig.1.4 : Sinal elétrico - domínio do tempo

SINAL SENOIDAL

Este sinal, em particular, é de grande importância na teoria de comunicação e por isto vou examinar suas principais características.

Sua amplitude varia senoidalmente com o tempo, conforme você pode ver na figura abaixo :

$$x = A \operatorname{sen}(2\pi ft)$$

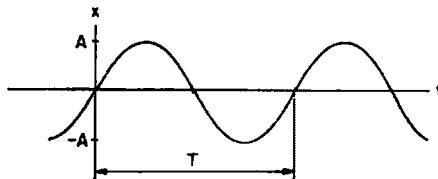


Fig.1.5 : Sinal senoidal

onde :

A = amplitude máxima [Volt]

t = tempo [segundo]

f = frequência = ciclos por segundo [Hz]

$T = 1/f$ = período = tempo de duração de um ciclo completo [segundo]

Igualmente importante é o sinal cossenoidal, muito semelhante ao sinal senoidal.

$$x = A \operatorname{cos}(2\pi ft)$$

Observe que os dois sinais são periódicos, de período T , ou seja, a cada T segundos a mesma forma de onda é repetida.

1.1.2 POTÊNCIA DO SINAL

A potência de um sinal é a energia que ele pode fornecer em um determinado intervalo de tempo, ou seja, é a sua velocidade de fornecimento de energia :

$$P = \frac{E}{T}$$

; P = potência [W=watt]
E = energia [J=joule]
T = tempo [s=segundo]

Observe que a potência é medida em "joule por segundo" que é a mesma coisa que "watt".

Por exemplo, uma lâmpada de 100 W acesa durante uma hora fornece :

$$E = P \cdot T = 100 \cdot 60 \cdot 60 = 360 \text{ kJ} = 0,1 \text{ kW.h}$$

No caso da lâmpada, às vezes estamos mais interessados na velocidade com que ela fornece energia do que na energia efetivamente fornecida. Uma lâmpada de 20 W é "mais lenta" do que uma de 100 W, por isto dizemos que ela é "mais fraca" que a de 100 W.

No caso dos sinais elétricos utilizados em comunicação também estou mais interessado em saber sua potência do que na energia que ele transporta.

A potência de um sinal elétrico pode ser medida pelo produto de sua voltagem por sua corrente :

$$P = V \cdot I$$

; P = potência [W]
V = voltagem [V=volt]
I = corrente [A=ampere]

Nesse ponto gostaria de apresentar dois elementos físicos que atuam sobre a potência de um sinal :

Atenuador = atenua o sinal, diminuindo sua potência
Amplificador = amplifica o sinal, aumentando sua potência

O atenuador divide (poderia dizer que multiplica por um número menor que 1) e o amplificador multiplica a potência do sinal de entrada por um fator fixo.

Na figura abaixo você pode ver um pequeno sistema onde um atenuador divide por 2 e um amplificador multiplica por 100.

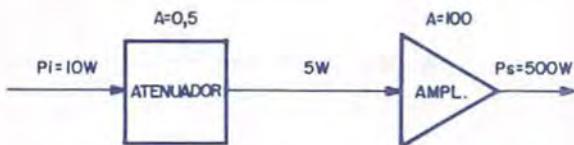


Fig.1.6 : Atenuação e amplificação

A relação entre as entradas e as saídas são :

$$\text{Atenuador : } \frac{Ps}{Pi} = \frac{5}{10} = 0,5$$

$$\text{Amplific. : } \frac{Ps}{Pi} = \frac{500}{5} = 100$$

Se tivermos o fator de amplificação de um elemento desses, A, podemos calcular a saída, desde que saibamos a entrada, bastando executar uma multiplicação :

$$Ps = Pi \cdot A$$

No exemplo acima o cálculo foi imediato. Imagine agora que os números envolvidos fossem do tipo $Pi = 7,46$ e $A = 4369,5$!

A fim de se evitar essas multiplicações, normalmente se utiliza uma relação entre potências do tipo logarítmica, chamada "decibel" :

$$A [\text{dB}] = 10 \cdot \log \frac{Ps}{Pi}$$

A potência do sinal, nesse caso, é sempre expressa com relação a 1 mW e chamada de "decibel relativo a 1 mW" ou "dBm" :

$$P [\text{dBm}] = 10 \cdot \log \frac{Ps}{1 \text{ mW}} = 10 \cdot \log Ps + 10 \cdot \log 0,001$$

$$P [\text{dBm}] = 10 \cdot \log Ps + 30$$

Observe que 1 mW corresponde a 0 dBm.

Vejamos agora as relações entre entrada e saída de um elemento atenuador ou amplificador, utilizando o decibel :

$$A \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \frac{P_s}{P_i} = 10 \cdot \log \frac{P_s/1mW}{P_i/1mW}$$

$$A \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \frac{P_s}{1 \text{ mW}} - 10 \cdot \log \frac{P_i}{1 \text{ mW}}$$

$$A \text{ [dB]} = P_s \text{ [dBm]} - P_i \text{ [dBm]}$$

Então :

$$P_s \text{ [dBm]} = P_i \text{ [dBm]} + A \text{ [dB]}$$

Observe que as multiplicações foram transformadas em adições, quando utilizei o decibel.

Voltemos ao exemplo da figura 1.6 e vamos utilizar o decibel :

$$\text{Atenuador} : A = 10 \cdot \log 0,5 = -3 \text{ dB}$$

$$\text{Amplific.} : A = 10 \cdot \log 100 = 20 \text{ dB}$$

$$\text{Entrada} : P_i = 10 \cdot \log 10 + 30 = 40 \text{ dBm}$$

Então a saída será :

$$P_s = 40 \text{ dBm} - 3 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 57 \text{ dBm}$$

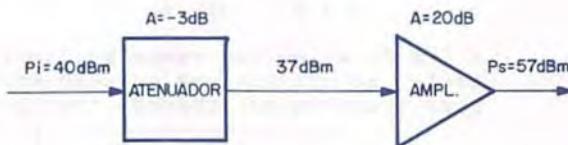


Fig.1.7 : Atenuação e amplificação (dB)

Observe como ficou mais fácil comparado ao exemplo da figura 1.6.

Note também que, como o logaritmo de qualquer número menor que "1" é negativo, potências menores que 1 mW terão um valor negativo quando expressas em dBm. Da mesma forma, a atenuação corresponde a um fator de amplificação negativo, quando expressa em dB.

1.1.3 REPRESENTAÇÃO EM FREQUÊNCIA

Pode ser mostrado matematicamente que qualquer sinal periódico é equivalente a uma soma de infinitos sinais senoidais, cada um com uma determinada amplitude, e frequência múltipla daquela do sinal periódico original.

Quanto maior a quantidade de sinais senoidais somados, melhor será a aproximação.

Este fato é muito importante pois significa que se pode imaginar qualquer sinal periódico como um espectro de sinais senoidais !

Dessa forma, representar um sinal periódico no domínio da frequência é saber qual a frequência e intensidade de cada componente senoidal de seu espectro.

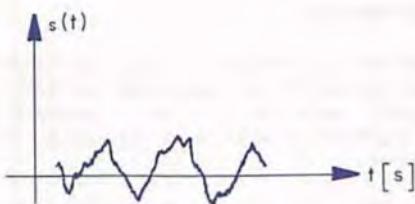
Na verdade, pode-se ir mais além e representar qualquer sinal, periódico ou não, no domínio da frequência, utilizando uma transformação matemática conhecida pelo nome de seu formulador : transformada de Fourier.

Quando aplicamos a transformada de Fourier na equação do sinal (domínio do tempo), encontramos outra equação que representa a densidade espectral do sinal (domínio da frequência).

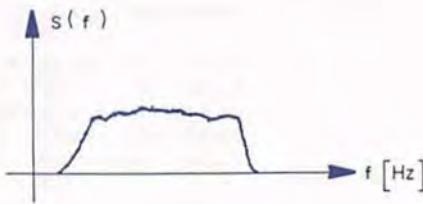
Sabemos, então, que qualquer sinal elétrico nada mais é do que a soma de infinitos sinais senoidais.

Em outras palavras, todo sinal possui uma densidade espectral que ocupa uma determinada faixa de frequência.

A figura 1.8 mostra um mesmo sinal representado das duas formas descritas : no domínio do tempo, onde você pode observar a variação da amplitude e no domínio da frequência, onde você pode ver quais são as suas componentes de frequência.



domínio do tempo



domínio da frequência

Fig.1.8 : Sinal elétrico qualquer

1.1.4 FILTROS

Você viu no ítem anterior que qualquer sinal elétrico ocupa uma faixa de frequência. Esta faixa é às vezes chamada de "banda" e sinais que ocupam uma faixa de frequência delimitada às vezes são chamados de "sinais de banda limitada".

Gostaria de apresentar um outro elemento físico, que, neste caso, age sobre a banda do sinal de entrada. Este elemento é chamado de "filtro de frequências" ou simplesmente "filtro".

Os filtros são classificados em quatro tipos :

Passa-baixo : deixa passar somente as frequências abaixo de um valor específico F_c .

Passa-alto : deixa passar somente as frequências acima de F_c .

Passa-banda : deixa passar as frequências que estiverem contidas numa faixa F_2-F_1 .

Corta-banda : deixa passar as frequências que estiverem fora de uma faixa F_2-F_1 .

Na figura 1.9 você pode ver o efeito dos filtros sobre um sinal de entrada "E", que ocupa uma faixa de frequência que vai de "0" a "F".

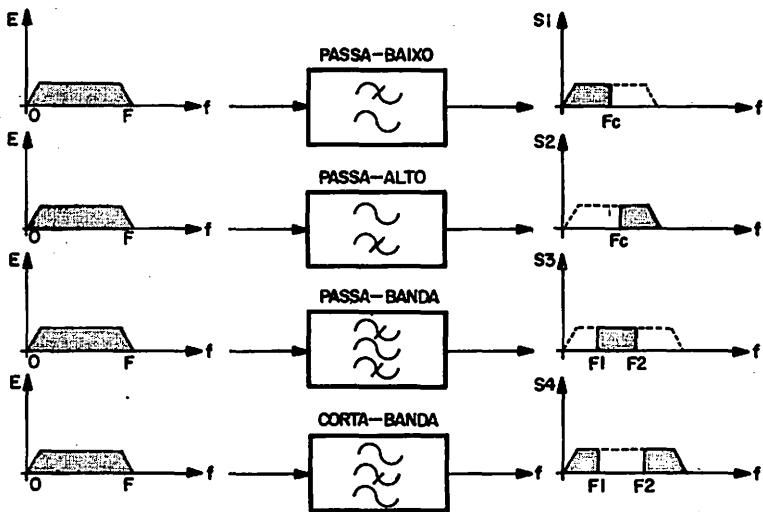


Fig.1.9 : Filtros

O sinal de saída de cada filtro, S1 a S4, ocupa a faixa de frequência hachuriada na figura, que corresponde a "fatias" da faixa do sinal de entrada "E".

1.2 SINAL DE VOZ

O sinal de voz é extremamente complexo mas convém fazermos uma rápida abordagem sobre o assunto a fim de estudarmos a sua transmissão pelas linhas telefônicas.

Como você viu anteriormente, o sinal de voz transmitido pela linha telefônica é um sinal elétrico e como tal possui uma densidade espectral.

A densidade espectral do sinal de voz modifica-se continuamente durante todo o tempo em que a pessoa fala. Isto é perfeitamente comprehensível pois a fala possui, por exemplo, pausas para respiração, além de uma infinidade de sons diferentes : o som da palavra "éssse" possui componentes de frequências mais altas do que o da palavra "um", por exemplo.

Apesar da constante variação da densidade espectral do sinal de voz dificultar sua caracterização, foram feitos levantamentos da densidade espectral média, ao longo de um certo intervalo de tempo.

O gráfico abaixo mostra esse resultado e nele podemos observar dois pontos interessantes :

- O espectro da voz humana cobre uma faixa de frequência que vai de 100Hz a 8000Hz.
- A maior parte da energia se concentra na região de baixa frequência, em torno de 400Hz.

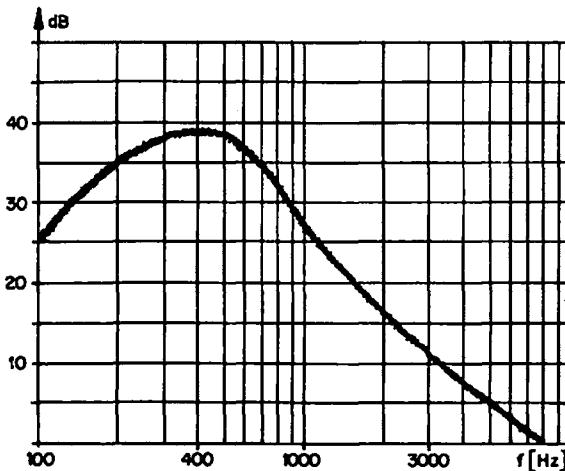


Fig.1.10 : Densidade espectral do sinal de voz

Suponha que esse sinal de voz seja submetido a um filtro de frequências que só deixe passar suas componentes que estão entre 300Hz e 3400Hz. Naturalmente, o sinal obtido na saída do filtro continua sendo um sinal de voz, porém sem suas componentes abaixo de 300Hz e acima de 3400Hz (fora da faixa permitida pelo filtro). Será que o sinal resultante continua inteligível ?

Estudos e testes realizados mostraram que sim. Apesar da energia do sinal de voz se concentrar nas baixas frequências, a importância para manter a inteligibilidade está entre 700Hz e 3000Hz.

Após esses estudos, a faixa de 300 a 3400 Hz foi adotada como "faixa de voz", simplesmente porque esta faixa do espectro do sinal de voz é suficiente para garantir sua inteligibilidade.

A faixa de voz é, portanto, um canal de 3100 Hz, comumente referido como canal de voz.

Você viu que a voz humana cobre uma faixa de frequência que vai de 100 Hz a 8000 Hz e talvez esteja se perguntando : e o ouvido humano ? A qual faixa de frequência ele é sensível, ou seja, quais frequências ele pode "ouvir" ?

Se nosso ouvido tivesse sua sensibilidade restrita à faixa de voz (300 Hz a 3400 Hz) já seria suficiente para entendermos o que outras pessoas falam, mas a natureza foi bem mais generosa conosco : o ouvido humano normal pode sentir frequências desde 20 Hz até 20000 Hz e a esta faixa de frequência audível deram o nome de "faixa de audio" : qualquer sinal que nela se acomode se chama "sinal de audio".

Você agora pode concluir que o sinal de voz é um sinal de audio que ocupa uma faixa de frequência que vai de 100 Hz a 8000 Hz e que um sinal qualquer confinado à faixa de voz (300 Hz a 3400 Hz) também é um sinal de audio.

Quando você ouve uma peça musical solada ao piano com acompanhamento de uma bateria e de um contrabaixo, certamente seu ouvido está ocupado em sentir todas as frequências da faixa de audio, que eu gostaria de dividir em notas musicais a fim de que você tenha uma boa idéia de sua extensão.

A escala musical tal qual existe em um piano atual, conhecida por "escala de temperamento igual", surgiu no início do século XVIII e teve J. S. Bach como um de seus primeiros adeptos, o qual inclusive compôs uma coleção de prelúdios e fugas para teclado intitulada "O cravo bem temperado", com a finalidade de demonstrar a versatilidade da, então, nova escala. É formada por oitavas e cada oitava possui 12 notas. Um teclado de piano com 88 teclas, por exemplo, possui 88 notas divididas em algo mais que 7 oitavas, onde as teclas brancas correspondem ao "dó, ré, mi, fá, sol, lá, si" e as pretas correspondem aos sustenidos.

A cada nota da escala musical corresponde uma frequência fundamental, de tal forma que qualquer nota de uma determinada oitava tem exatamente o dobro da frequência desta mesma nota na oitava inferior. Por exemplo, o lá do diapasão tem 440 Hz, o lá da oitava imediatamente superior tem 880 Hz, e assim por diante.

Na verdade, a relação de uma nota para outra, é realmente bem temperada, seguindo uma relação logarítmica de base 2, ou seja :

$$\log_2 F(n+1) = \frac{1}{12} + \log_2 F(n)$$

$$F(n+1) = 2^{\frac{1}{12}} \cdot F(n) = 1,05946309 \cdot F(n)$$

onde : \log_2 = logarítmico na base 2

$F(n)$ = frequência de uma nota

$F(n+1)$ = frequência de uma nota imediatamente superior

Utilizando a equação acima posso calcular a frequência de qualquer nota, sabendo sua posição em relação ao lá do diapasão :

lá (diapasão)	= A	= 440.0	Hz
lá sustenido	= A $\#$	= 466.2	Hz
si	= B	= 493.9	Hz
dó	= C	= 523.3	Hz
dó sustenido	= C $\#$	= 554.4	Hz
ré	= D	= 587.3	Hz
ré sustenido	= D $\#$	= 622.3	Hz
mi	= E	= 659.3	Hz
fá	= F	= 698.5	Hz
fá sustenido	= F $\#$	= 740.0	Hz
sol	= G	= 784.0	Hz
sol sustenido	= G $\#$	= 830.6	Hz
lá	= A	= 880.0	Hz
lá sustenido	= A $\#$	= 932.3	Hz
si	= B	= 987.8	Hz

Na tabela abaixo apresento todas as notas musicais cujas frequências fundamentais se situam dentro da faixa de audio :

27.50	55.00	110.0	220.0	440.0	880.0	1760	3520	7040	14080	
29.14	58.27	116.5	233.1	466.2	932.3	1865	3729	7459	14917	
30.87	61.74	123.5	246.9	493.9	987.8	1976	3951	7902	15804	
32.70	65.41	130.8	261.6	523.3	1047	2093	4186	8372	16744	
34.65	69.30	138.6	277.2	554.4	1109	2217	4435	8870	17740	
36.71	73.42	146.8	293.7	587.3	1175	2349	4699	9397	18785	
19.45	38.89	77.78	155.6	311.1	622.3	1245	2489	4978	9956	19912
20.60	41.20	82.41	164.8	329.6	659.3	1319	2637	5274	10548	21096
21.83	43.65	87.31	174.6	349.2	698.5	1397	2794	5588	11175	
23.12	46.25	92.50	185.0	370.0	740.0	1480	2960	5920	11840	
24.50	49.00	98.00	196.0	392.0	784.0	1568	3136	6272	12544	
25.96	51.91	103.8	207.7	415.3	830.6	1661	3322	6645	13290	

Observe que somos capazes de ouvir 10 oitavas desta escala, aproximadamente de um "mi" (20.60 Hz) a um "ré sustenido" (19912 Hz).

Na figura 1.11 você pode ter uma idéia da faixa de audio e comparar com as demais faixas de que falei.

Na coluna "1" a faixa de audio (20 a 20000 Hz) está marcada em uma escala logarítmica de base 10 e na coluna "2" ela está dividida nas 120 notas musicais que podemos ouvir. Observe que essa escala é logarítmica de base 2 e as notas estão igualmente espaçadas.

A coluna "3" ilustra um teclado com as posições das notas e a coluna "4" mostra a abrangência de um teclado de piano.

Nas colunas "5" e "6" você pode ver as faixas ocupadas pelas frequências fundamentais de outros dois instrumentos : o violão e o violino.

Na coluna "7" você pode ver onde se situa o espectro da voz humana e, finalmente, na coluna "8", a faixa de voz tal qual foi definida.

Observe que a faixa de voz corresponde a 3,5 oitavas da escala musical, sendo mais estreita que a faixa ocupada pelas notas de um piano.

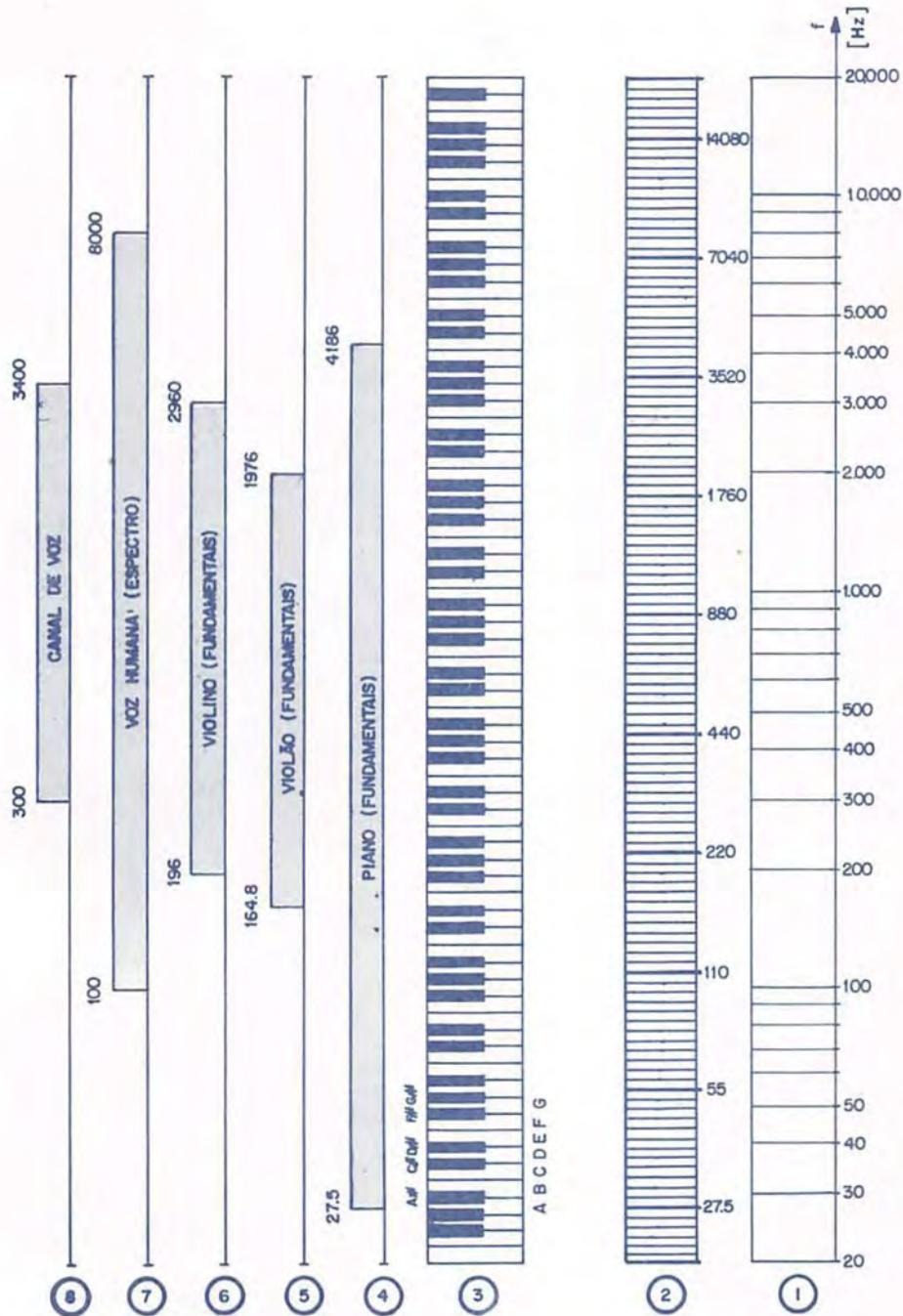


Fig.1.11 : Faixa de audio

2 SISTEMA TELEFONICO

O sistema telefônico foi projetado e instalado com a finalidade de transportar a voz humana, sob forma de sinal elétrico, entre vários pontos.

É basicamente composto pelos aparelhos telefônicos (terminais), as centrais de comutação (que permitem interligar dois aparelhos) e as linhas telefônicas.

Esse sistema, que tem as características apropriadas para a transmissão do sinal de voz, tornou-se um meio atrativo para a transmissão de dados pelo fato de já estar instalado numa extensão geográfica muito grande em quase todos os países.

É extremamente importante que você conheça alguns detalhes do sistema telefônico pois vamos estudar como a transmissão de dados pode ser efetivada utilizando esta infra-estrutura.

2.1 CANAL DE VOZ

Chama-se de canal de voz ao meio de comunicação que sómente garante transportar um sinal elétrico que esteja contido na faixa de voz.

Canal de voz é, portanto, um meio de comunicação para um sinal contido na faixa de 300 a 3400 Hz.

Um canal de voz une dois pontos, que podem estar na mesma cidade (urbano), em cidades diferentes (interurbano) ou até em países diferentes (internacional).

Para garantir que o sinal do transmissor vai chegar ao receptor, inteligível, existe uma série de especificações mínimas que devem ser atendidas pelo canal de voz - você verá isto mais adiante, para o caso específico das linhas telefônicas.

2.2 LINHA TELEFÔNICA

Chama-se de linha telefônica todo circuito que une dois aparelhos telefônicos, permitindo a comunicação por voz. É o meio de comunicação mais utilizado em todo o mundo.

É importante esclarecer que uma linha telefônica inclui todos os elementos necessários para completar a comunicação, podendo ter em sua trajetória pares físicos (fios), amplificadores, equalizadores, multiplexadores, etc...

Como você verá, uma linha telefônica não necessariamente é caracterizada como um canal de voz, mas possui uma resposta em frequência própria.

Ela se divide em dois tipos, com relação à aplicação : comutada e privativa.

2.2.1 LINHA COMUTADA

A linha telefônica comutada é aquela fornecida pelas concessionárias do serviço telefônico, juntamente com o aparelho, em nossas residências e escritórios. Como você já deve ter observado, a extremidade da linha é constituída por 2 fios. Através dela podemos acessar outros usuários, simplesmente discando seu número telefônico.

Convém analisar um pouco o seu funcionamento.

A linha comutada liga nosso aparelho à central telefônica mais próxima, com a qual manteremos o primeiro contato.

Quando o telefone está no gancho, a central mantém uma voltagem de 48 VDC no par telefônico.

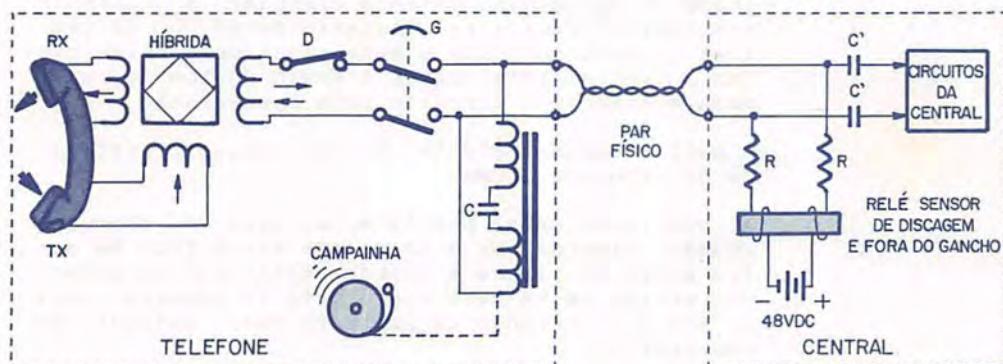


Fig.2.1 : O telefone e a central

A figura 2.1 mostra, de modo simplificado, um aparelho telefônico ligado a uma central através de um par de fios.

Telefone no gancho

Quando o telefone está no gancho, a chave D está fechada e a G está aberta, exatamente como indicado na figura 2.1.

Os capacitores C e C' servem para bloquear a corrente contínua devido ao 48 VDC, tanto na bobina da campainha do telefone quanto nos circuitos da central.

Central chamando

Quando a central quer chamar este aparelho, ela envia um sinal alternado em 20 Hz, com voltagem da ordem de 80 VAC, que vai acionar a campainha, até a chamada ser atendida.

Telefone atendido

Quando o telefone é atendido, os dois contatos da chave G se fecham, fazendo circular a corrente contínua fornecida pela bateria de 48 VDC da central - esta corrente é sensoriada pelo relé que faz a central interromper o envio do tom de chamada e liberar o circuito para conversação.

A partir desse instante, a comunicação é efetivada da seguinte forma:

A voz local entra por TX e vai para o circuito chamado híbrida que a transmite até o fone na outra ponta da linha e também permitindo um pequeno retorno em RX para que o próprio usuário ouça a sua voz, criando um ambiente mais natural de conversação.

O sinal de voz que chega do outro interlocutor é encaminhado para RX, pela híbrida.

Observe que, como a linha possui somente 2 fios, o papel da híbrida é muito importante.

Quando a conversa termina, o telefone é novamente colocado no gancho, abrindo os contatos da chave G.

Telefone discando

Vamos supor agora que o usuário queira fazer uma chamada telefônica.

Inicialmente o telefone é retirado do gancho, fechando os contatos de G.

Isto gera uma corrente contínua da ordem de 20 mA, que é sentida pelo relé da central provocando a emissão do tom de discagem.

Ao ouvir este tom, o usuário inicia a discagem.

Cada algarismo discado faz com que o disco do telefone provoque, no seu retorno, a interrupção da chave D tantas vezes quanto for o valor desse algarismo. com exceção do algarismo "0" que provoca 10 interrupções.

As interrupções duram cerca de 66 ms e são feitas a cada 100 ms, conforme você pode ver na figura 2.2.

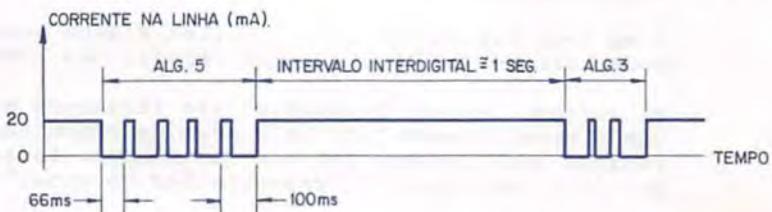


Fig.2.2 : Discagem do número 53

Todas essas interrupções são sentidas pelo relé da central, permitindo selecionar o número desejado.

2.2.2 LINHA PRIVATIVA

A linha telefônica privativa une dois pontos fixos, sem passar pelos circuitos de comutação da central, e não possui voltagem DC em seus terminais.

Naturalmente, esse tipo de linha não permite a ligação do aparelho telefônico tradicional, do qual falamos, mas pode ser utilizada para a transmissão de qualquer sinal, desde que este ocupe uma faixa compatível com a resposta em frequência da linha.

Esse tipo de linha pode ser instalada pela concessionária com a finalidade exclusiva de transmissão de dados.

Normalmente o seu custo é maior que o da linha comutada, mas tem as vantagens de manter a ligação de modo permanente entre os dois pontos e possui uma qualidade melhor já que não passa pelos circuitos de comutação da central.

2.3 DEGENERACOES DO SINAL

Como você viu no capítulo 1, citei alguns problemas que podem dificultar ou até mesmo impedir uma comunicação.

Na verdade, esses "problemas" são fenômenos que ocorrem com o sinal transmitido pelo meio de comunicação, modificando suas características num sentido indesejável e, por isto, os chamo de "degenerações do sinal".

As linhas telefônicas possuem certas particularidades que degeneram qualquer sinal que por ela trafegue e, quanto mais acentuada for a degeneração imposta ao sinal, mais difícil será sua recuperação pelo receptor.

A seguir analisarei as seguintes degenerações :

- Atenuação
- Distorção de amplitude
- Distorção de retardo
- Ruído branco
- Ruído impulsivo
- Oscilação de amplitude
- Oscilação de fase
- Translação de frequência
- Eco
- Distorção harmônica

Algumas destas degenerações afetam pouco a inteligibilidade do sinal da voz humana mas podem ser altamente prejudiciais a uma transmissão de dados, como é o caso por exemplo, da distorção de retardo.

Em todos os países existem normas para limitar as degenerações impostas pelas linhas telefônicas a fim de não prejudicar a inteligibilidade do sinal de voz. Normalmente também existem linhas com especificações especiais para transmissão de dados.

No Brasil, a especificação das linhas telefônicas a serem utilizadas para transmissão de dados, fica por conta da Telebrás, através da publicação citada na bibliografia como ref.[5].

2.3.1 DISTORÇÃO DE AMPLITUDE

A linha telefônica pode atenuar o sinal que por ela trafegue, igualmente para todas as frequências. A este fenômeno chamarei de atenuação da linha.

A linha telefônica pode, no entanto, interferir na amplitude do sinal, de maneira desigual ao longo da faixa de frequência, ou seja, atenuar mais algumas componentes do que outras.

A este fenômeno chamarei distorção de amplitude, e sua presença nas comunicações por voz é indesejável pois pode prejudicar a inteligibilidade.

Alguns países possuem normas, que especificam a distorção de amplitude máxima permitida a fim de manter a qualidade desejada em cada tipo de linha.

Essas normas apresentam gabaritos que delimitam a distorção de amplitude.

No Brasil existem 3 gabaritos definidos para comunicação de dados, conforme ref. [5]:

LPCD tipo N
LPCD tipo C
LPCD tipo B

LPCD significa "linha privativa para comunicação de dados".

O gabarito da LPCD tipo C é mais rígido que o tipo N, conforme você pode ver nas figuras 2.8 e 2.9.

Mostrarei ainda 4 gabaritos adotados nos Estados Unidos e um adotado na França, a título de ilustração.

A distorção de amplitude deve ser somada a uma atenuação de linha, normalmente medida a 800 ou 1000 Hz, para obtermos a resposta em frequência total da linha.

A seguir analisarei a distorção de amplitude no par físico, no par físico condicionado e na linha telefônica genérica.

2.3.1.1 PAR FÍSICO

O par de fios utilizado para interconectar os elementos do sistema telefônico é chamado de par físico, e é constituído por 2 fios trançados para evitar interferências.

Esse par de fios, aparentemente inofensivo, pode causar uma grave distorção de amplitude dependendo do seu comprimento e da espessura do fio utilizado.

O par de fios forma uma linha de transmissão, que possui 4 parâmetros primários :

R = resistência de enlace por Km

Corresponde à resistência do par de fios, a cada Km, considerando ida e volta. Os fios são normalmente de cobre.

C = capacidade por Km

Provocada pela proximidade entre os dois fios.

L = Indutância de enlace por Km

Provocada pelo campo magnético entre os fios.

G = Condutância por Km

Provocada por fuga entre os isolantes dos dois fios.

Um quilômetro de linha pode ser representado pelo esquema abaixo:

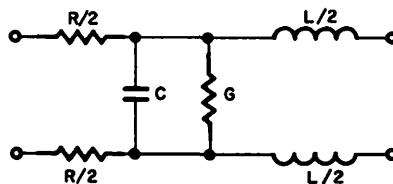


Fig.2.3 : Par físico - modelo 1

Como a indutância e a condutância são parâmetros de pouca influência, podemos simplificar o modelo do par físico e considerar somente a resistência e a capacidade, e o modelo para 1 Km de linha fica:

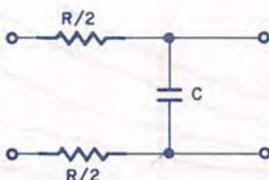


Fig.2.4 : Par físico - modelo 2

A tabela abaixo mostra os valores desses parâmetros para os fios mais utilizados como pares telefônicos (Ref. [5]) .

diâmetro do fio [mm]	R [Ω /Km]	C [nF/Km]	AWG (aprox.)
0,4	288	49	26
0,5	184	51	24
0,65	106	51	22
0,90	56	51	19

Esses dois parâmetros, distribuídos ao longo da linha, fazem o efeito de um filtro que atenua mais as frequências altas, provocando distorção de amplitude.

A figura da página seguinte mostra a resposta em frequência de dois pares de fios, 0,4 e 0,65 mm, para diversos comprimentos.

Observe que quanto maior o comprimento mais severa é a distorção - este fenômeno pode prejudicar a inteligibilidade, nas ligações telefônicas.

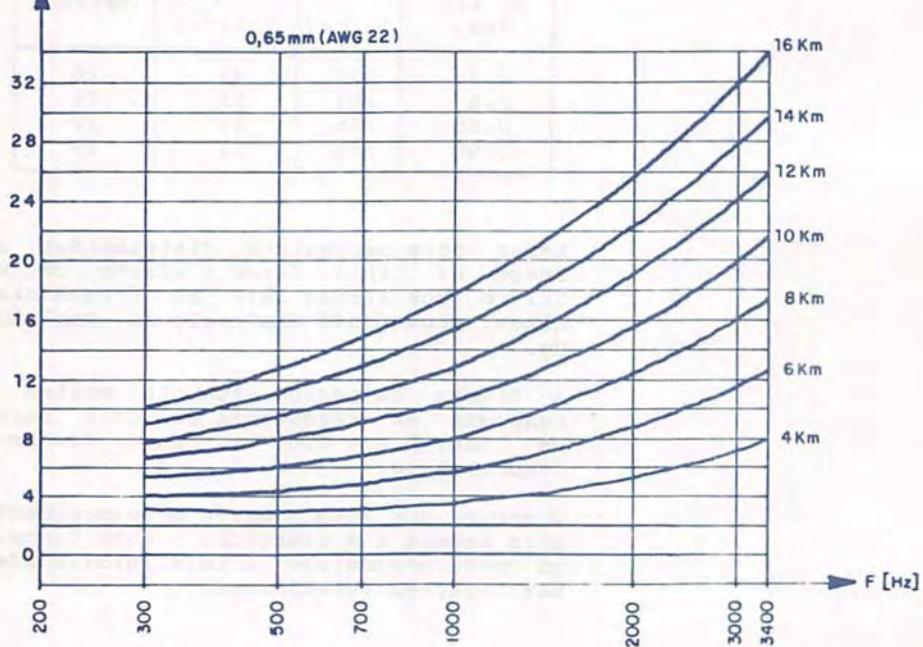
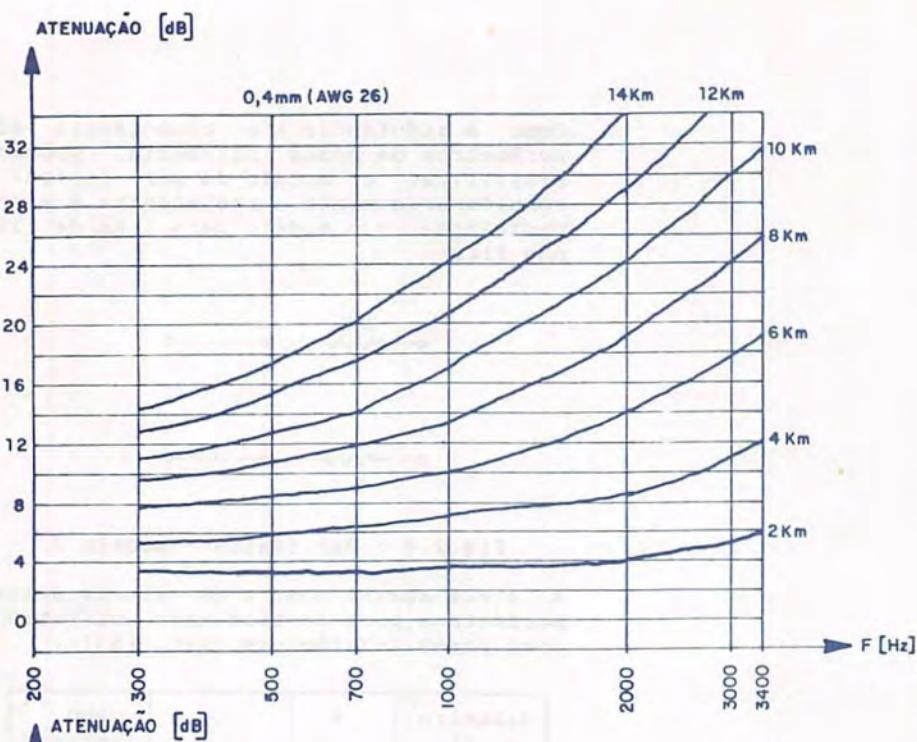


Fig.2.5 : Resposta em frequência : fios 0,4 e 0,65 mm

2.3.1.2 LINHA CONDICIONADA

A fim de compensar a distorção de amplitude presente nos pares físicos, Michael Pupin propôs equalizar a resposta em frequência, inserindo bobinas distribuídas ao longo da linha, regularmente espaçadas, conforme você pode ver na figura abaixo.

Quando o par físico recebe esse tratamento dizemos que é uma linha condicionada ou pupinizada.

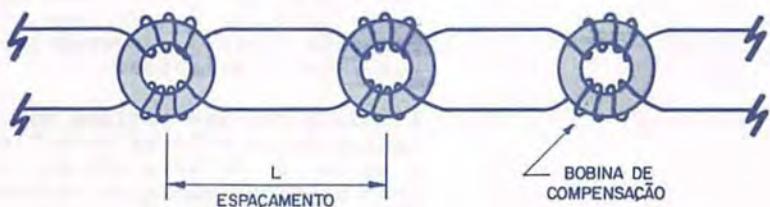


Fig.2.6 : Linha pupinizada

As bobinas compensam a distorção natural do par físico até uma certa frequência, e a partir desse ponto elas provocam uma distorção mais acentuada, conforme você pode ver na figura abaixo.

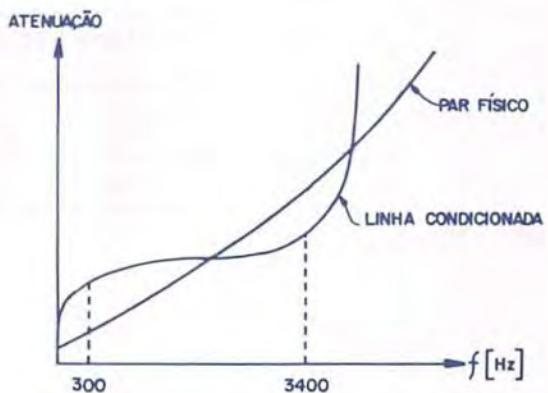


Fig.2.7 : Efeito do condicionamento

Observe, pela figura, que a resposta em frequência melhorou bastante dentro da faixa de voz (300 a 3400 Hz), e piorou, no entanto, para frequências acima de 3400 Hz.

Esta atenuação, mais acentuada a partir de certa frequência, obriga praticamente o sinal a estar contido na faixa de voz, para que consiga passar por essa linha.

Naturalmente, esta limitação em frequência não se torna um problema pois o sinal a trafegar nessa linha seria exatamente o sinal de voz, que, conforme a proposta inicial deveria ter garantida sua inteligibilidade.

A indutância das bobinas de pupinização variam de 15 a 66 mH para linhas de assinante e de 44 a 100 mH para linhas tronco. Normalmente se refere a uma linha condicionada da seguinte forma :

24H88

onde 24 é a bitola do fio em AWG, H é o espaçamento e 88 é a indutância em mH.

Alguns sistemas utilizados na prática são :

Sistema	Intervalo [m]	Indutância da bobina [mH]
H-44	1830	44
H-88	1830	88
D-66	1372	66
B-88	915	88

2.3.1.3 LINHA TELEFONICA GENERICA

De um modo geral, a linha telefônica pode ter em seu trajeto pares físicos, pares condicionados, amplificadores, multiplexadores do tipo FDM, etc.

Todos esses elementos introduzem distorções de amplitude, que somadas, devem se manter dentro de um certo limite para que se garanta a transmissão de voz ou dados, conforme o caso.

Os multiplexadores FDM, por exemplo, possuem filtros que limitam o sinal, que por ele trafegue, praticamente à faixa de voz.

Quando a linha telefônica possui em seu trajeto multiplexadores FDM, ou mesmo, uma severa pupinização, ela fica caracterizada como um canal de voz.

As figuras 2.8 até 2.15 apresentam gabaritos que limitam esta distorção de amplitude, para vários tipos de linhas, utilizadas para transmissão de dados.

As atenuações máximas de linha que devem ser somadas aos gabaritos são :

LPCD tipo N	= 30 dB
LPCD tipo C	= 15 dB
LPCD tipo B	= vide figura 2.10
3002	= 16 dB
C1	= 16 dB
C2	= 16 dB
C4	= 16 dB

2.3.2 DISTORÇÃO DE RETARDO

Quando um sinal é transmitido pela linha telefônica todas as componentes de seu espectro são transmitidas ao mesmo tempo e o ideal seria que chegassem do outro lado também juntas.

No entanto, isso normalmente não acontece.

Qualquer sinal que se propague por uma linha telefônica está sujeito a uma distorção de retardo.

Na verdade cada componente do espectro de frequência do sinal transmitido vai se propagar com uma velocidade diferente.

Se cada componente se propaga com uma velocidade diferente, o retardo de propagação também será diferente, ou seja, as diferentes componentes do espectro chegarão em instantes diferentes no final da linha.

Portanto, se o retardo de propagação não é o mesmo para todo o espectro, o sinal sofre uma distorção de retardo.

Esta distorção também é chamada de distorção de retardo de grupo ou distorção de fase.

Os maiores causadores dessa distorção são os filtros utilizados principalmente nos multiplexadores FDM.

Essa distorção, praticamente imperceptível nas conversações telefônicas, pode ser fatal em comunicação de dados, principalmente quando são utilizados modems com modulação em fase (DPSK ou QAM).

Você pode ver as distorções de retardo aceitáveis para vários tipos de linhas a partir da figura 2.8.

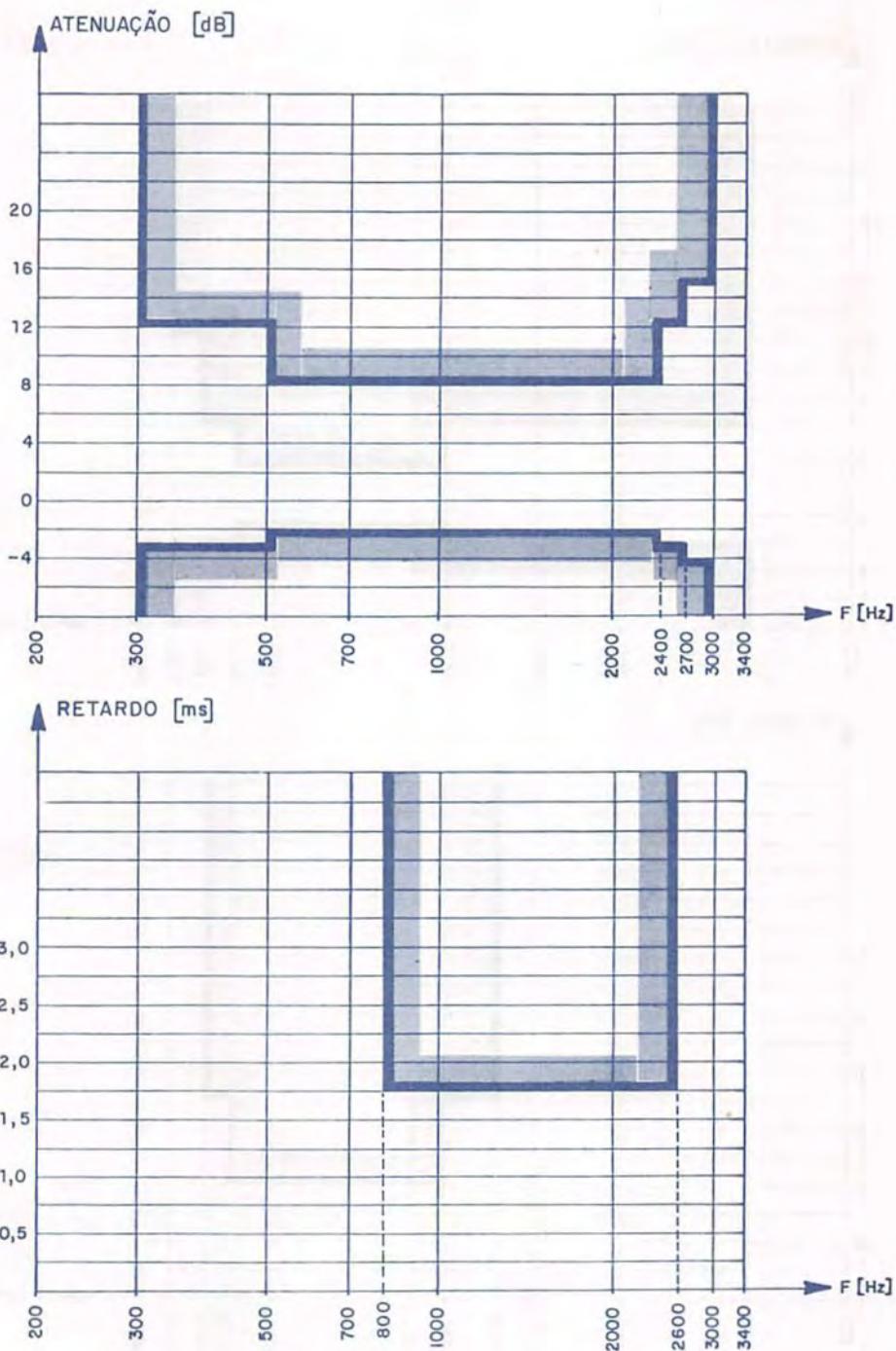


Fig.2.8 : Gabarito LPCD tipo N

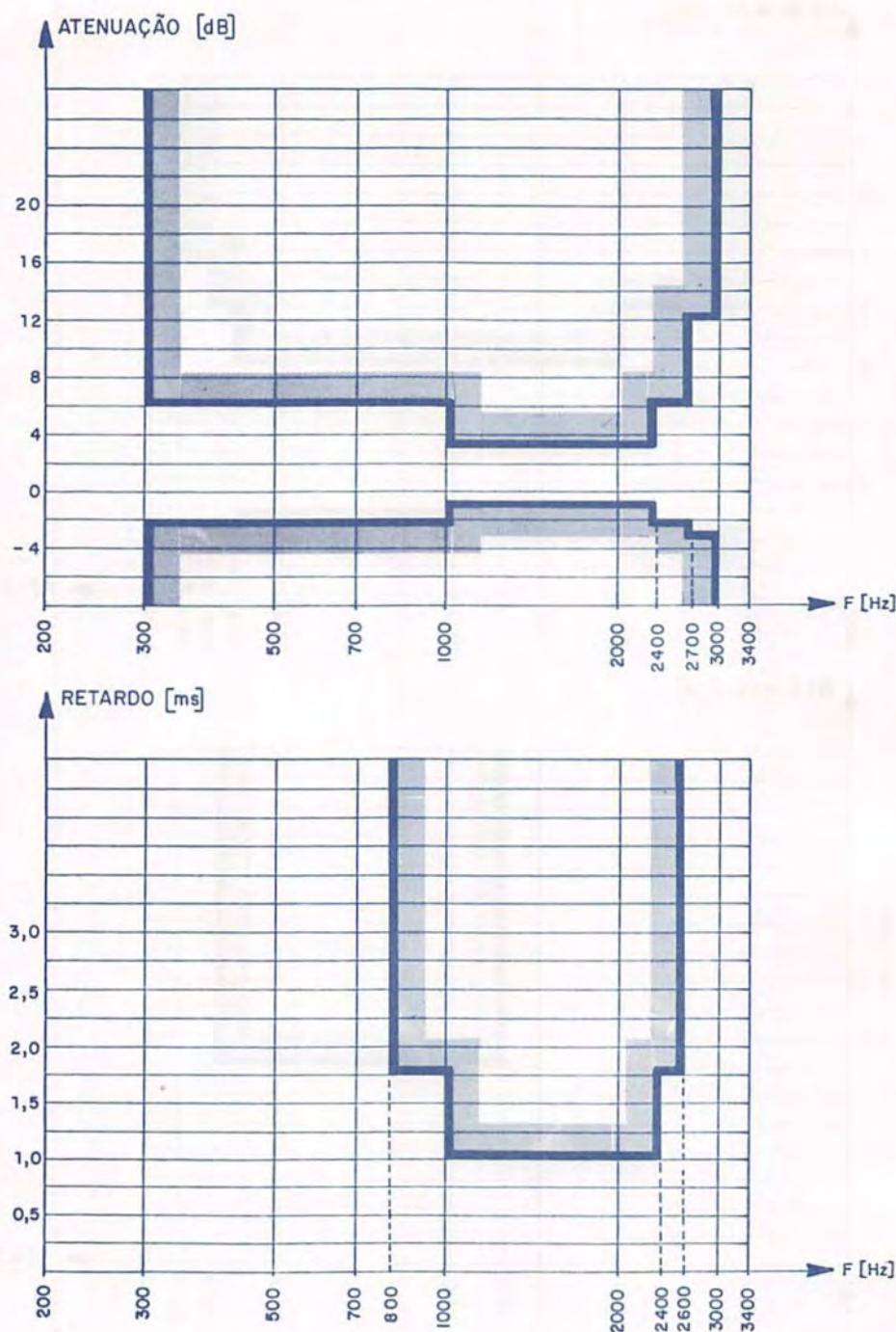
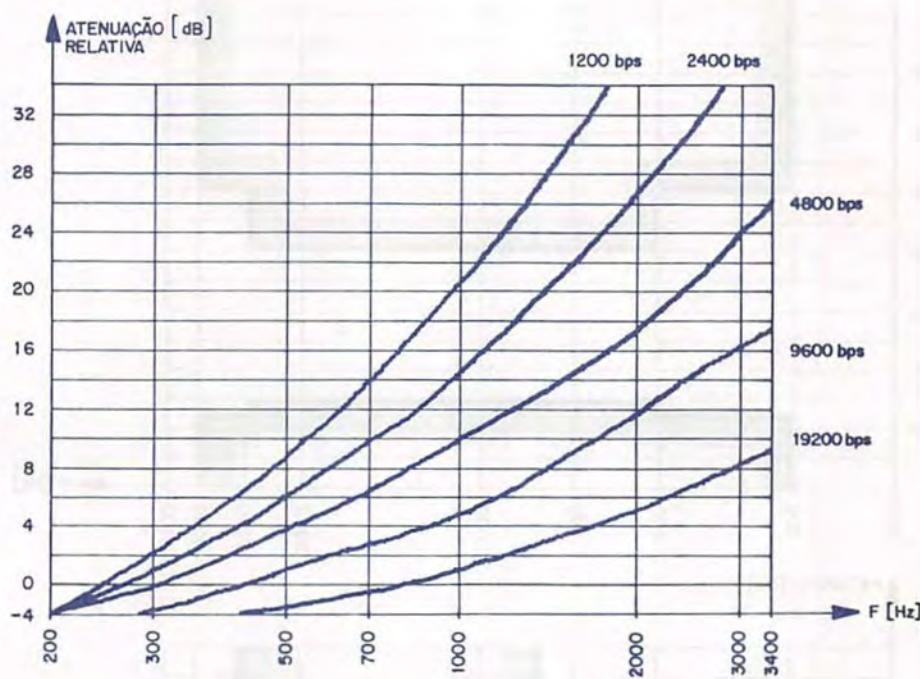


Fig.2.9 : Gabarito LPCD tipo C



ESTE GABARITO ESPECIFICA A ATENUAÇÃO MÁXIMA DA LINHA PARA A VELOCIDADE A QUE ELA SE DESTINA.

ATENUAÇÃO A SOMAR NAS CURVAS :

1200 bps = 20 dB

2400 bps = 15 dB

4800 bps = 11 dB

9600 bps = 9 dB

19200 bps = 9 dB

Fig. 2.10 : LPCD tipo B

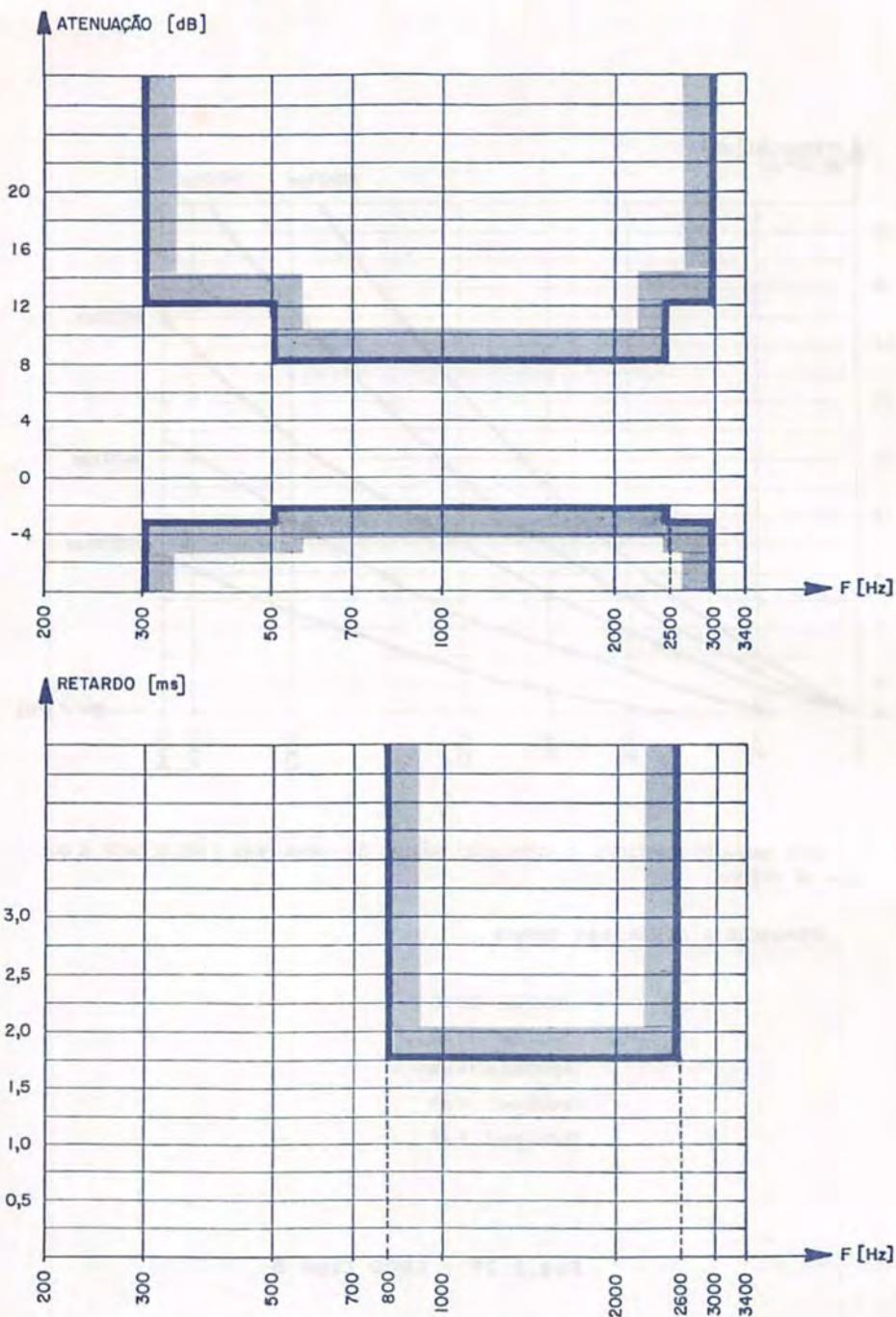
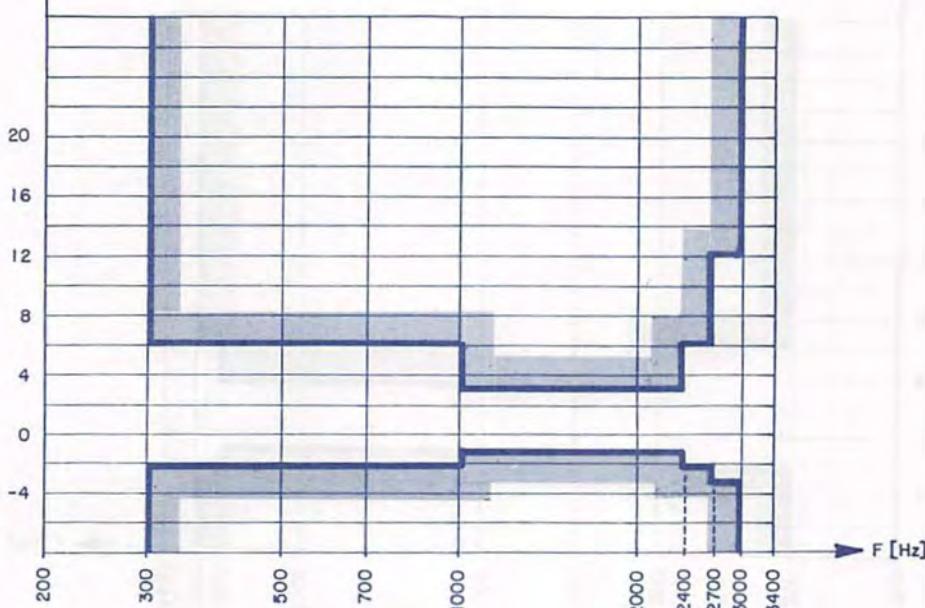


Fig.2.11 : Gabarito 3002 - USA

▲ ATENUAÇÃO [dB]



▲ RETARDO [ms]

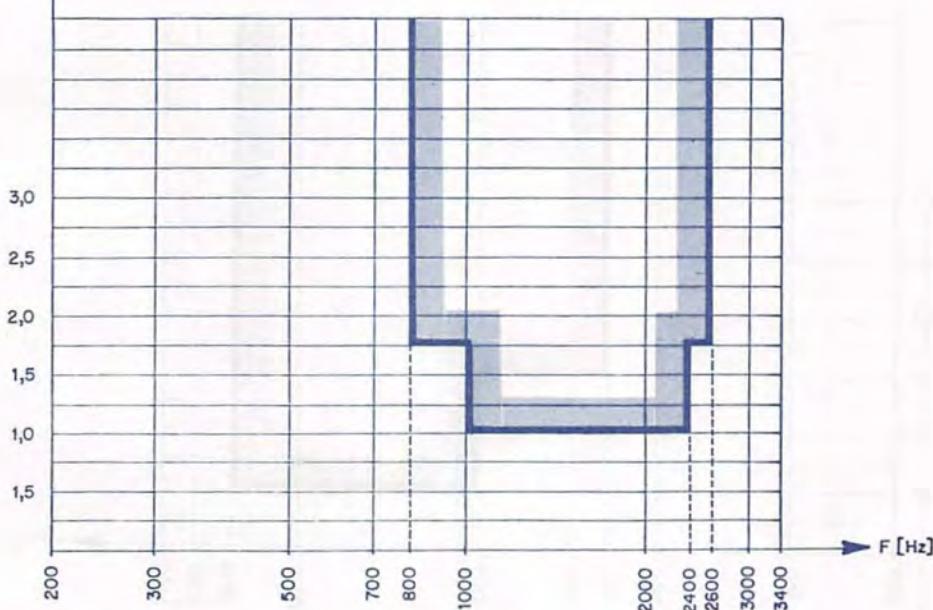


Fig.2.12 : Gabarito Cl - USA

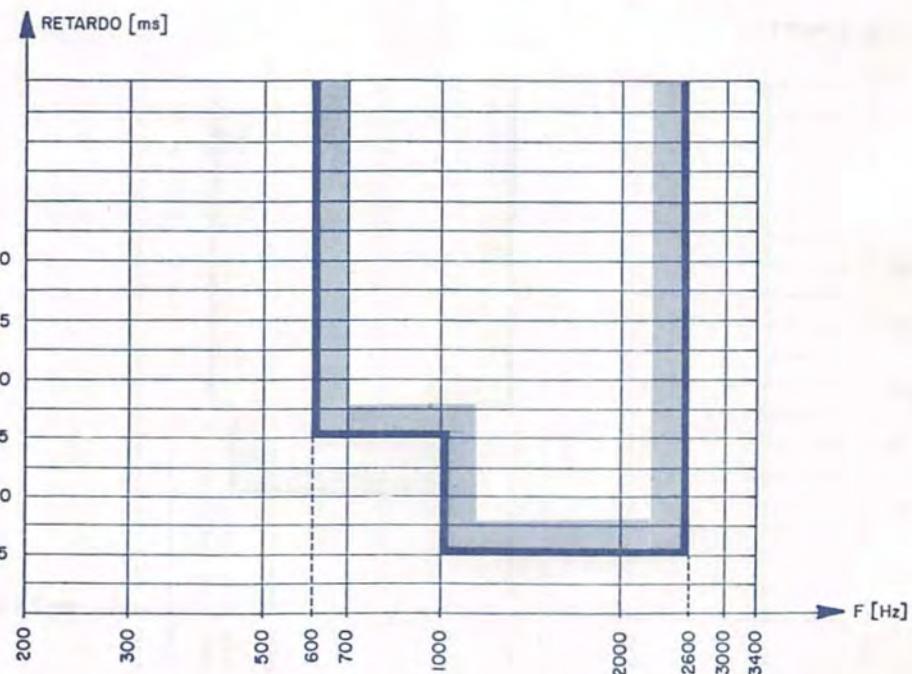
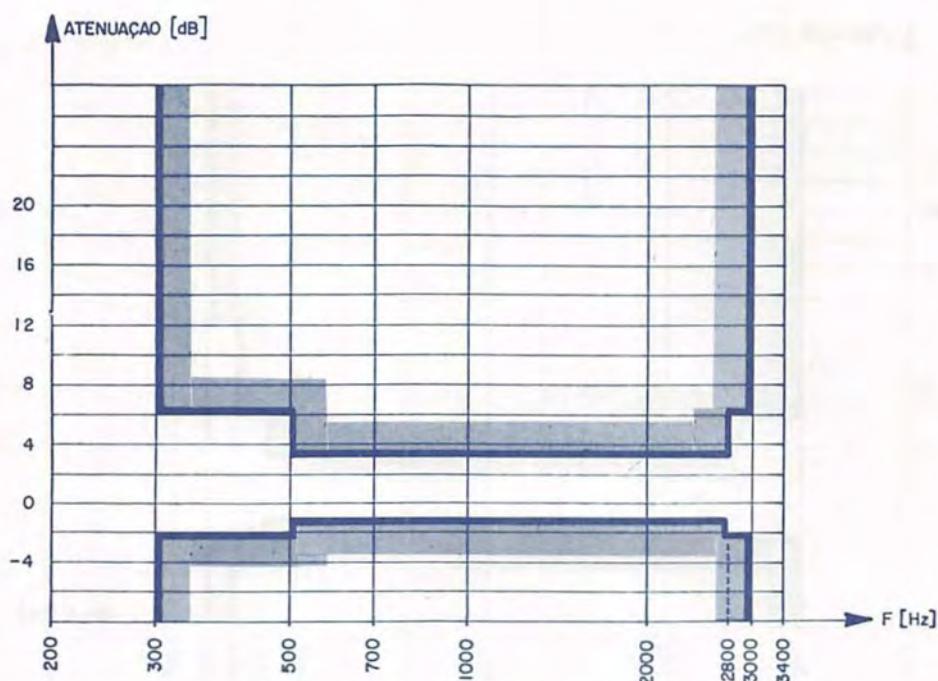


Fig.2.13 : Gabarito C2 - USA

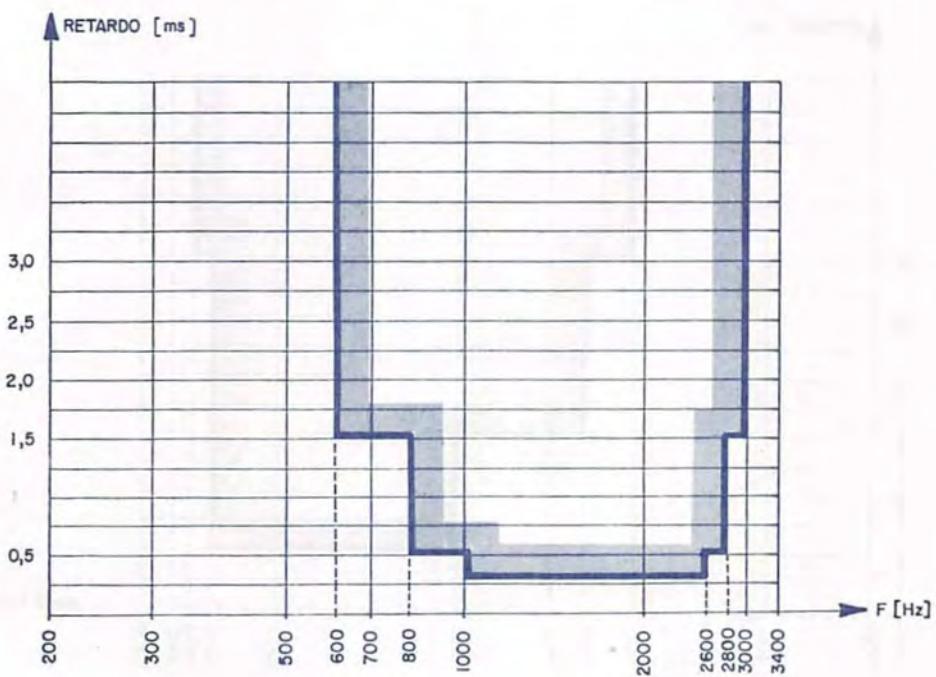
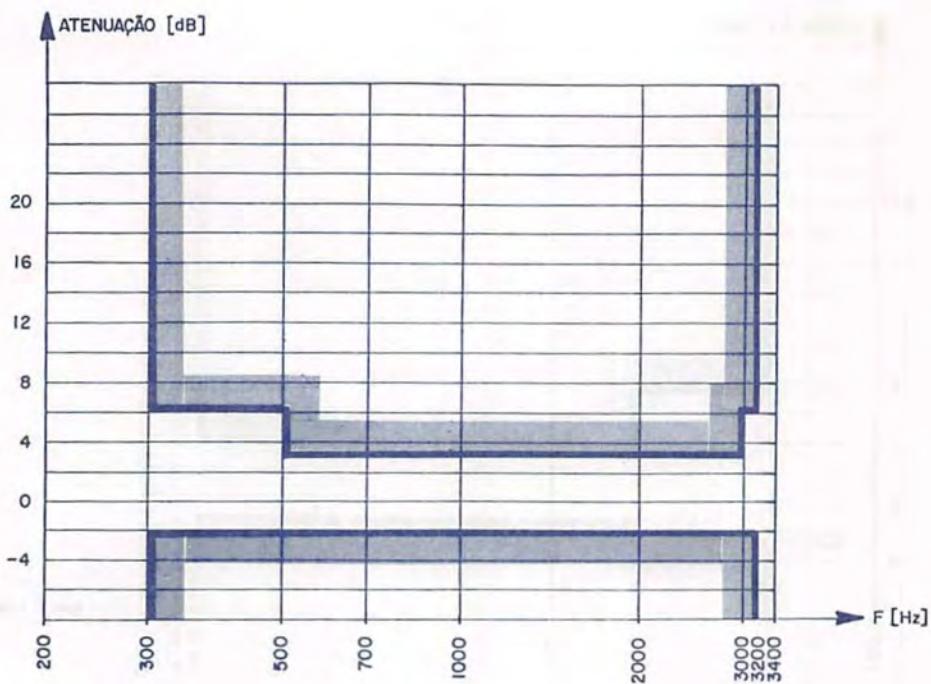


Fig.2.14 : Gabarito C4 - USA

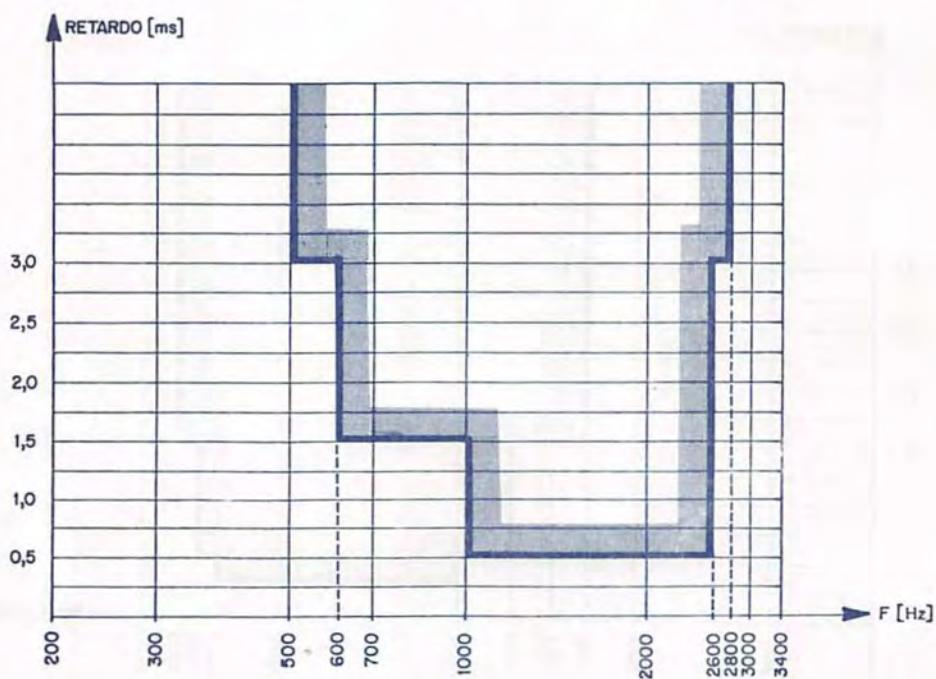
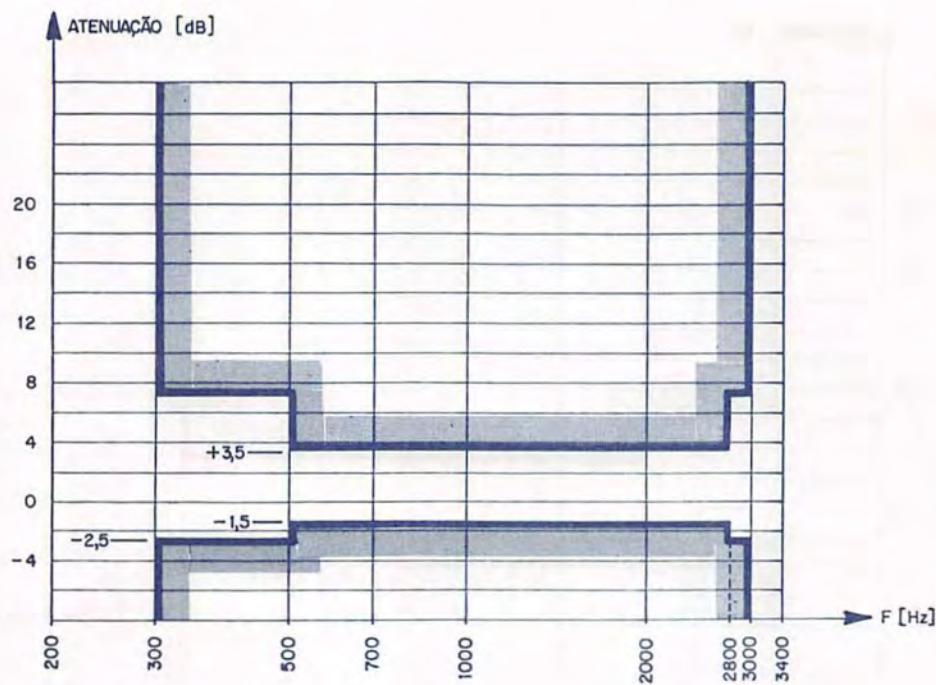


Fig.2.15 : Gabarito M89 - PTT, França

2.3.3 RUIDO BRANCO

Chama-se de ruído branco ao sinal cujo espectro cobre toda a faixa de frequências, ou seja, vai de menos infinito a mais infinito.

Claramente essa definição é teórica e quer dizer, em outras palavras, que o ruído branco possui componentes em todas as frequências.

O ruído branco aparece somado ao sinal, na recepção, devido principalmente ao movimento aleatório de elétrons nos pares telefônicos, o que é também conhecido como ruído térmico.

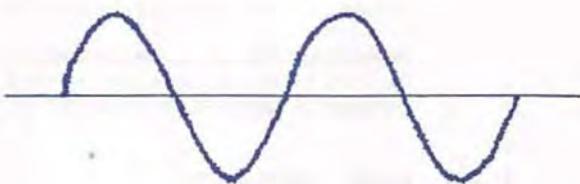


Fig.2.16 : Ruído branco

É desejável que a contaminação de ruído branco no sinal recebido seja a menor possível.

Em outras palavras, é desejável que a relação entre as potências de sinal e ruído seja a maior possível: quanto maior a relação sinal/ruído, menos erros ocorrerão na detecção do sinal.

Como você viu, relações entre potências, normalmente são expressas em decibel (dB) :

$$S/R = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_r} \right) \quad [\text{dB}]$$

onde : S/R = relação sinal/ruído
 P_s = potência do sinal
 P_r = potência do ruído

A relação sinal/ruído nas LPCD tipos N e B é especificada como no mínimo 24 dB e na LPCD tipo C é especificada como no mínimo 40 dB.

Nas linhas americanas (3002, C1, C2 e C4) é especificada uma relação sinal/ruido mínima de 24 dB, e um nível de ruido máximo de -40 dB.

Por exemplo, suponha que uma transmissão via linha telefônica tenha as características abaixo :

nível de transmissão = 0 dBm
Atenuação da linha = 18 dB

então : nível de recepção = -18 dBm

se : nível de ruído = -45 dBm

então : relação sinal/ruído = 27 dB

Normalmente as linhas comutadas possuem um nível de ruído maior que as linhas privativas, principalmente quando a ligação é de longa distância.

2.3.4 RUÍDO IMPULSIVO

Esse tipo de ruído pode aparecer na recepção, e tem a forma de um pulso, ou seja é uma interferência transitória, de alguns milisegundos.

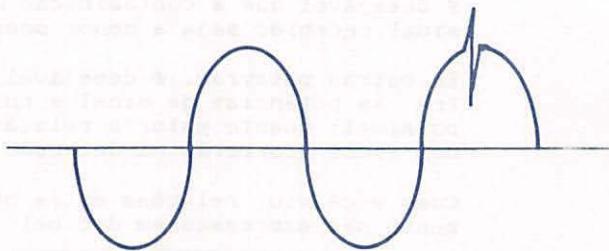


Fig.2.17 : Ruído impulsivo

Normalmente é gerado devido a raios ou chaveamentos nas centrais telefônicas.

Esse tipo de degeneração normalmente é limitado nas especificações para linhas privativas.

Nas LPCD (Telebrás) é especificada uma contagem máxima de 18 pulsos em 15 minutos para um nível de decisão de 5 dB abaixo do nível do sinal recebido o qual tenha sido transmitido a 0dBm.

2.3.5 OSCILAÇÃO DA AMPLITUDE

Esse tipo de degeneração provoca uma variação na amplitude do sinal recebido, geralmente do tipo senoidal, devido às interferências do sinal de chamada (20 Hz) e fonte de alimentação (60 Hz).

Pode também ser provocada pelos amplificadores e filtros de eventuais equipamentos FDM.

2.3.6 OSCILAÇÃO DA FASE

Esse tipo de degeneração provoca uma variação na fase do sinal recebido, geralmente do tipo senoidal, devido aos mesmos motivos citados para a oscilação de amplitude.

Normalmente esta degeneração é imperceptível na comunicação por voz, mas em comunicação de dados ela pode causar sérios problemas, principalmente quando os modems utilizam modulação em fase.

2.3.7 TRANSLAÇÃO DE FREQUÊNCIA

As vezes se utiliza a multiplexação em frequência para agrupar vários canais de voz e fazer uma única transmissão, que ocupará uma faixa de frequência maior.

Os multiplexadores por divisão de frequência (FDM) realizam esta tarefa, deslocando cada canal de voz para para uma posição distinta no espectro de frequência.

Este deslocamento é feito multiplicando o sinal de áudio por portadoras senoidais e filtrando as bandas laterais.

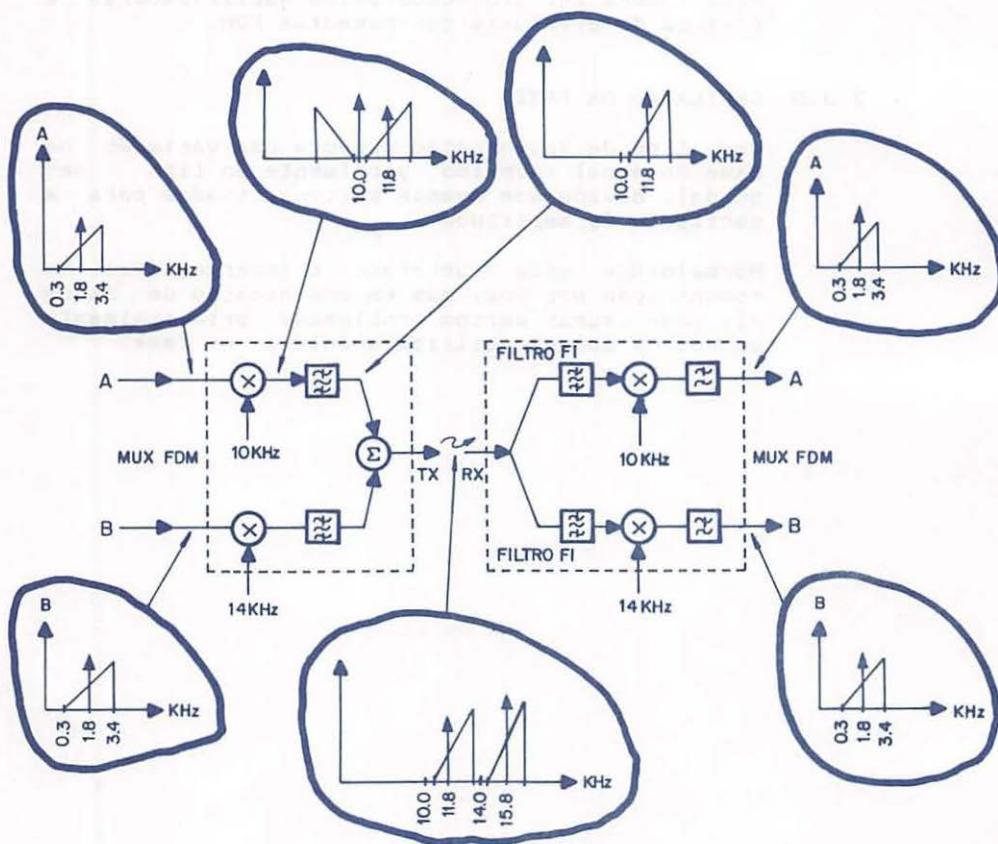


Fig.2.18 : Multiplexação por divisão de frequência

A figura 2.18 representa dois canais de áudio que podem ser por exemplo, a transmissão de duas comunicações por voz ou dois modems cujas portadoras são de 1800 Hz.

Os canais de áudio entram no FDM e cada um é multiplicado por uma frequência intermediária (modulam uma portadora).

O efeito é a translação do canal de áudio para a frequência respectiva. No caso da figura 2.18 temos a portadoras dos modems deslocadas para :

$$A = 1800 + 10000 = 11800 \text{ Hz}$$

$$B = 1800 + 14000 = 15800 \text{ Hz}$$

Na recepção multiplica-se novamente pelas frequências intermediárias, fazendo os canais de áudio retornarem para sua posição original :

$$A = 11800 - 10000 = 1800 \text{ Hz}$$

$$B = 15800 - 14000 = 1800 \text{ Hz}$$

Então, para cada canal, foi feito o seguinte :

$$Prx = 1800 + Fit - Fir = 1800$$

$$Prx = 1800 + (Fit - Fir) = 1800$$

Onde : Prx = portadora na recepção

Fit = frequência intermediária na transmissão

Fir = frequência intermediária na recepção

Suponha agora que as duas frequências intermediárias não sejam exatamente iguais, ou seja, que a diferença entre as duas não seja zero :

$$Fit - Fir = AF$$

$$\text{então : } Prx = 1800 + AF$$

Caso isto aconteça, a frequência da portadora do modem (e todo o canal de áudio) estará translada da de AF na recepção.

As linhas americanas (3002, C1, C2 e C4) especificam uma translação máxima de ± 5 Hz. As LPCD (Telebrás) não especificam este parâmetro.

2.3.8 ECO

A linha telefônica comutada disponível em nossos escritórios e residências consiste de um único par de fios, que permite o tráfego da voz nos dois sentidos.

No entanto, em alguns trechos, normalmente entre centrais, a ligação é feita a 4 fios a fim de permitir amplificações, equalizações e multiplexações utilizando FDM.

A conversão de 2 fios para 4 fios é feita por um circuito conhecido como híbrida.

A híbrida convencional é constituída por dois transformadores, como você pode ver na figura abaixo.

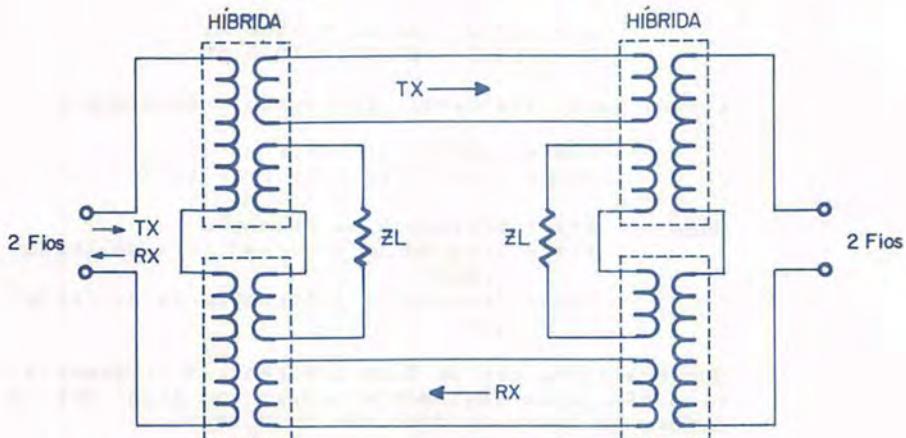


Fig.2.19 : Híbrida

O sinal de transmissão (TX) é encaminhado ao par de transmissão e atenuado para o par de recepção devido à configuração dos enrolamentos dos transformadores da híbrida. A atenuação entre os dois pares do lado de 4 fios é chamada de rejeição da híbrida e é da ordem de 40 dB, dependendo da impedância da linha do lado de 2 fios e da impedância de casamento indicada como ZL na figura 2.19.

Portanto, uma pequena parcela do sinal RX ainda retorna para TX.

Existe uma perda de 3dB quando o sinal passa pela híbrida tanto no sentido de 2 para 4 fios quanto no inverso.

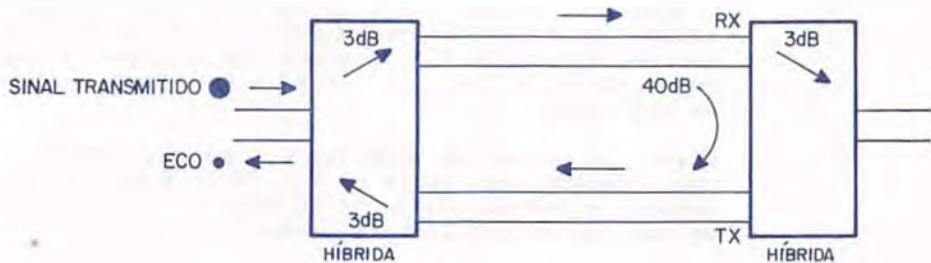


Fig.2.20 : Eco

Este retorno que chega ao lado emissor, algum tempo depois, depende do retardo total da linha telefônica, e é chamado de ECO.

Este eco já pode ser ouvido numa conversa telefônica se o retardo introduzido pela linha for maior que 20 ms em cada sentido. Uma ligação via satélite, por exemplo, pode introduzir cerca de 250 ms de retardo em cada sentido.

O eco é um sinal indesejável e por isso pode ser classificado como ruído (muito desagradável nas conversações telefônicas).

Para se evitar esta degeneração, costuma-se instalar um dispositivo chamado supressor de eco nos trechos críticos.

O supressor de eco somente deixa passar o sinal no par de fios onde o nível for mais alto. Na verdade é um atenuador de 50 dB ativado pelo sinal de voz que trafega no outro par de fios.

Isto torna a comunicação praticante semi-duplex, ou seja, somente passará o sinal de voz que chegar primeiro ao supressor. Quando o interlocutor faz uma pausa, o supressor libera o tráfego no sentido inverso após 10 ms.

Este dispositivo impede a comunicação de dados que utilize modem duplex a dois fios.

Nos Estados Unidos os circuitos que possuem um retardo total maior que 50 ms devem utilizar supressores de eco.

O supressor de eco pode, no entanto, ser desabilitado se este receber um tom de 2100 Hz por um período mínimo de 0,3 segundos. Se a linha ficar em silêncio por mais de 100 ms o supressor entra em atividade.

Quando um modem com resposta automática atende a uma chamada, ele emite um tom de 2100 Hz o que garante a desabilitação de um eventual supressor de eco que esteja instalado nesse circuito.

2.3.9 DISTORÇÃO HARMÔNICA

Esta distorção consiste na presença de tons estranhos ao sinal principal, gerados por não linearidades do canal telefônico, tais como a limitação do sinal devido à saturação de circuitos amplificadores ou filtros.

Esses tons indesejáveis possuem frequências múltiplas do sinal principal, ou seja, são harmônicos do sinal fundamental.

Por exemplo, se a frequência do sinal fundamental é 600 Hz, a do seu 2º harmônico é 1200 Hz, a do seu 3º harmônico é 1800 Hz, e assim por diante.

3 TRANSMISSÃO DE DADOS DIGITAIS

Dados digitais são informações codificadas sob a forma de dígitos que podem assumir um certo número de estados possíveis. Quando esses dígitos podem assumir dois estados dizemos que são dígitos binários ou "bits" ("BInary digiT5"). Normalmente, quando falamos "dado digital" estamos implicitamente nos referindo a "dado digital binário".

Os dois estados possíveis para os dígitos binários (bits) recebem diversos nomes :

"0" (zero) = F(falso) = BAIXO = OFF = ESPAÇO = 0v
"1" (um) = V(verdade) = ALTO = ON = MARCA = +5v

O importante é você observar que só existem dois estados possíveis para o bit. Se eu te disser que um bit não é "0", significa que ele é "1".

Transmitir dados digitais é transmitir bits e isto significa transportá-los de um ponto a outro.

Podemos considerar que a transmissão de dados digitais se iniciou em 1832 com a primeira comunicação telegráfica utilizando o código Morse. No mínimo, devemos reconhecer que este fato foi um marco muito importante. São, portanto, mais de 150 anos de história até chegarmos aos dias de hoje.

A mensagem codificada em Morse era gerada pela ação direta de um operador sobre um contato e interpretado do outro lado por outro operador que identificava a sequência de sons recebidos. A velocidade e a qualidade da transmissão ficava, basicamente, por conta da perícia do operador. Não é assim que a coisa acontece hoje em dia: a velocidade e a qualidade das transmissões estão fortemente ligadas aos equipamentos projetados especificamente para transmitir dados.

Algum tempo após o nascimento do telegrafo, foram surgindo as máquinas digitais (computadores, controladores de processo, sensores, etc...) e, em seguida, a necessidade de interligá-las.

Interligar duas máquinas digitais é fazer transmissão de dados digitais entre elas.

Basicamente, os dados podem ser transmitidos de duas formas: paralela ou serial.

Na transmissão paralela, vários bits (um conjunto) são transmitidos simultaneamente, ou seja, a transmissão é feita por blocos de bits, e para cada bit deve haver um fio interligando as duas máquinas, além do fio de referência de tensão.

Na transmissão serial os bits são transmitidos um após o outro, o que exige apenas um par de fios.

Para curtas distâncias a transmissão paralela pode ser interessante pois permite maior velocidade, mas para longas distâncias a transmissão serial se mostra mais adequada pois é mais econômica.

Abordarei a transmissão serial de dados digitais, pois é dessa forma que as máquinas digitais se comunicam quando estão em locais razoavelmente distantes (normalmente a mais de 30 metros).

Na transmissão serial o conceito de sincronismo é muito importante. Imagine que os bits chegam no receptor um após o outro. Existe, portanto, a necessidade do receptor saber quais bits pertencem a cada mensagem, normalmente codificada por caracteres, e onde está o centro de cada bit a fim de recuperar corretamente a mensagem.

A transmissão serial pode ser feita no modo síncrono ou no modo assíncrono.

No modo assíncrono, cada caractere do código utilizado possui uma informação de sincronismo própria.

A forma mais usual de se fazer isto é introduzir dois elementos a cada caractere transmitido:

elemento de partida ("start") = no início do caractere
elemento de parada ("stop") = no final do caractere

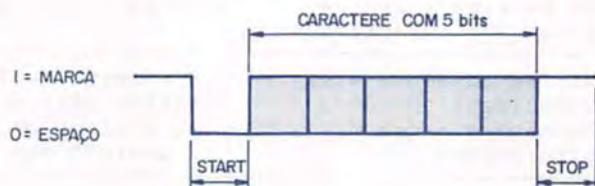


Fig.3.1 : caractere assíncrono

Normalmente o elemento de partida tem o comprimento de 1 bit e o elemento de parada tem o comprimento de 1 bit, 1,5 bit ou 2 bits.

Na transmissão síncrona um sinal específico de sincronismo deve ser transmitido junto com os dados, a fim de marcar o centro de cada bit para o receptor.

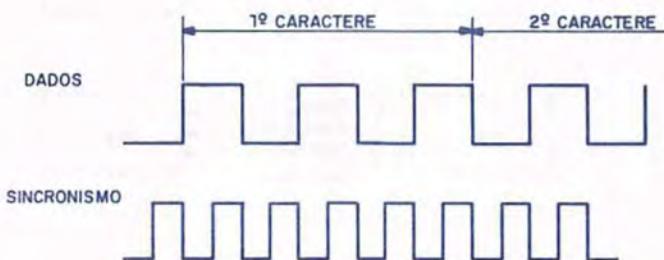
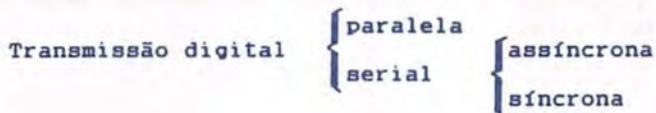


Fig.3.2 : Caractere síncrono

Resumindo:



Você pode ver, na tabela abaixo, as principais vantagens e desvantagens de cada tipo.

assíncrona	síncrona
Ineficiente pois precisa dos elementos de partida e parada para cada caractere.	Eficiente pois dispensa os elementos de partida e parada.
Não se consegue alta velocidade devido à possíveis erros de sincronismo.	É possível alta velocidade pois o sinal de sincronismo garante a posição dos bits.
Simples de gerar e detectar, permite a construção de equipamentos baratos.	Complexa de gerar e detectar, exige a construção de equipamentos mais caros.

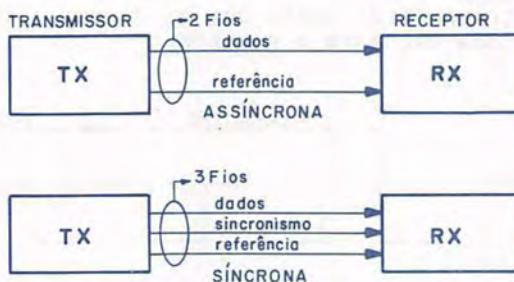


Fig.3.3 : Transmissão serial

A figura 3.3 mostra que um transmissor operando no modo assíncrono necessita apenas de 2 fios para enviar sua informação, ao passo que um transmissor operando no modo síncrono precisa de 3 fios.

Observe que as comunicações ilustradas na figura 3.3 somente ocorrem num sentido. Na prática nem sempre acontece assim. O que eu quero dizer é que uma comunicação às vezes exige transmissões nos dois sentidos e, de fato, esta é a forma mais comum.

Com relação ao sentido de transmissão, as comunicações foram divididas em três tipos :

Simplex : só há transmissão em um sentido.

Semi-duplex : há transmissão nos dois sentidos, porém um de cada vez.

Duplex : há transmissão nos dois sentidos simultaneamente.

Na figura 3.4 você pode ver duas máquinas digitais interligadas por meio de 5 fios, o que permite as seguintes formas de comunicação :

Sentido	modo	fios	sinais utilizados
simplex	assíncrona	2	DTX, OV
simplex	síncrona	3	DTX, TCK, OV
semi-duplex	assíncrona	2	DTX, OV
semi-duplex	assíncrona	3	DTX, DRX, OV
semi-duplex	síncrona	3	DTX, TCK, OV
semi-duplex	síncrona	5	DTX, TCK, DRX, RCK, OV
duplex	assíncrona	3	DTX, DRX, OV
duplex	síncrona	5	DTX, TCK, DRX, RCK, OV

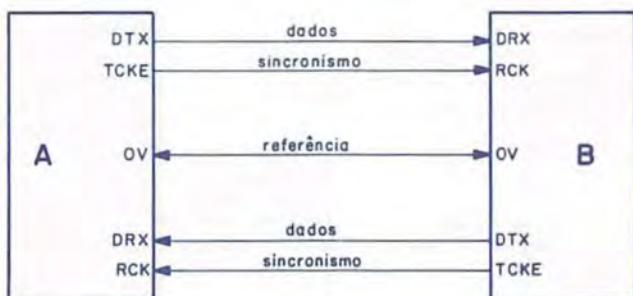


Fig.3.4 : Ligação de duas máquinas digitais

3.1 MEIO DE TRANSMISSÃO : LINHA TELEFÔNICA

Você viu pela figura 3.4 que, para conseguir efetivar as 8 formas de comunicação citadas, as duas máquinas devem estar ligadas com 5 fios. Algumas formas exigem apenas 2 fios, no entanto, outras exigem 5 fios.

Então, como essas comunicações, que utilizam transmissão serial, podem ser efetivadas pela linha telefônica, se esta possui apenas dois fios ?

Além desta, na verdade, uma série de condições devem ser satisfeitas para que se consiga transmitir dados digitais seriais pela linha telefônica :

- Nas transmissões síncronas, o sinal deve possuir, além da informação referente aos bits de dados, a informação de sincronismo. Desta forma a transmissão síncrona, em um sentido, também pode utilizar somente 2 fios.
- No caso da linha telefônica genérica, o sinal transmitido deve estar contido na faixa de voz (300 a 3400 Hz).
- O receptor deve ser capaz de recuperar o sinal caso ele esteja contaminado por uma ou várias degenerações impostas pela linha.
- Para conseguir uma comunicação duplex a dois fios o sinal de transmissão deve coexistir com o de recepção, simultaneamente.

O equipamento que permite adaptar os sinais da máquina digital à forma necessária para a transmissão pela linha telefônica é o "MODEM".

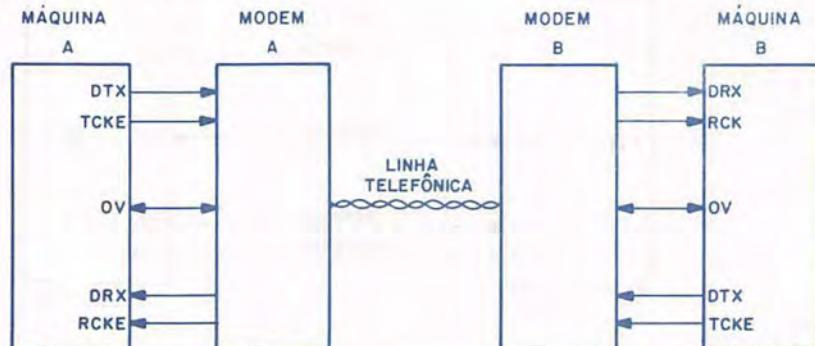


Fig.3.5 : Utilização do modem

Como já falei anteriormente, a linha telefônica pode ser simplesmente um par de fios (par físico), que não impõe uma limitação abrupta na frequência. Neste caso o sinal do modem não precisa satisfazer a condição "b", podendo apenas ser um sinal digital, contanto que satisfaça as condições "a", "c" e "d", se for o caso.

Você viu no capítulo 2.3.1.1, que um sinal transmitido por um par físico sofre distorção de amplitude, tanto mais severa quanto maior for o comprimento da linha.

Na verdade, a transmissão digital, utilizando exclusivamente um par físico como meio de comunicação, será limitada em distância devido às distorções de amplitude.

Quando os dados são transmitidos da forma descrita acima dizemos que a transmissão é do tipo banda-base ou digital, ou seja, o espectro do sinal transmitido não é deslocado por nenhuma modulação, se mantendo em sua banda base.

No caso da linha telefônica genérica, que é um canal de voz, o modem deve satisfazer a condição "b".

A sequência de dados a ser transmitida possui um espectro de frequência que, além de possuir componentes abaixo de 300 Hz, pode ultrapassar os 3400 Hz. Este espectro depende da velocidade de transferência dos dados, dada por $1/T$ bits por segundo.

A figura 3.6 ilustra uma sequência de dados e o seu espectro correspondente. Observe que o espectro irá além da faixa de voz se $1/T > 3400$ Hz, ou seja, se a transmissão for feita a uma velocidade maior que 3400 bits por segundo.

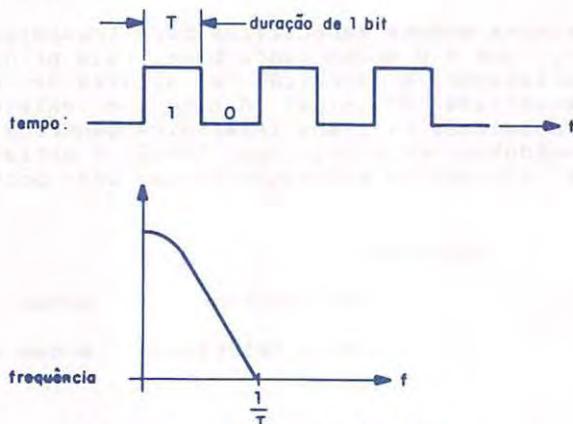


Fig.3.6 : Sequência de dados

Você deve ter observado que a sequência de dados "não pode" ser transmitida diretamente na linha telefônica e o motivo é que ela ocupa a faixa de 0 a 300 Hz, que não passa pelo canal de voz. Se a transmissão for mais rápida do que 3400 bits por segundo surgirá outro impedimento : o espectro vai além do limite superior do canal de voz.

Como contornar isso ? ou seja, como transformar o sinal digital, que possui um espectro que se estende de 0 a $1/T$ Hz, para um sinal que possua um espectro confinado na faixa de voz ?

A solução é a "modulação", que "transforma" o sinal digital em sinal analógico.

Portanto, a transmissão na linha telefônica genérica, deve ser do tipo analógica.

A transmissão analógica é aquela onde os dados digitais modulam uma portadora senoidal, gerando um espectro que fica localizado na faixa de voz.

Resumindo :

Transmissão	meio
Digital ou banda-base	Par físico (par de fios)
Analógica	Linha telefônica (canal de voz)

Existem modems específicos para transmissão em par físico, que é o modem banda-base, cuja principal função é satisfazer a condição "a" através de uma codificação apropriada do sinal digital, e existem modems para transmissão na linha telefônica genérica, que é o modem analógico, cuja principal função é satisfazer a condição "b" através da modulação de uma onda portadora.

Resumindo :

Par físico : modem banda-base

Linha telefônica : modem analógico

3.2 MODULAÇÃO

Modular é modificar uma onda portadora, conforme o sinal principal a ser transmitido.

Os métodos de modulação mais comuns são:

Modulação em amplitude - AM

Modulação em frequência - FM

Modulação em fase - PM

Outros três métodos, mais específicos para a transmissão de dados, são utilizados pelos modems:

Deslocamento de frequência - FSK

Deslocamento diferencial de fase - DPSK

Deslocamento de fase e amplitude - QAM

Modular em FSK é alterar a frequência da portadora para F1 quando o bit de dados for "1" (marca) e para F2 quando ele for "0" (espaço).

Modular em DPSK é alterar a fase da portadora, em graus diferentes, conforme o bit de dados seja "0" ou "1", mantendo a amplitude constante. DPSK é um caso particular de QAM, como você poderá constatar mais adiante.

A figura abaixo ilustra esses dois métodos, mostrando os dados binários (que é um sinal digital) e as respectivas modulações.

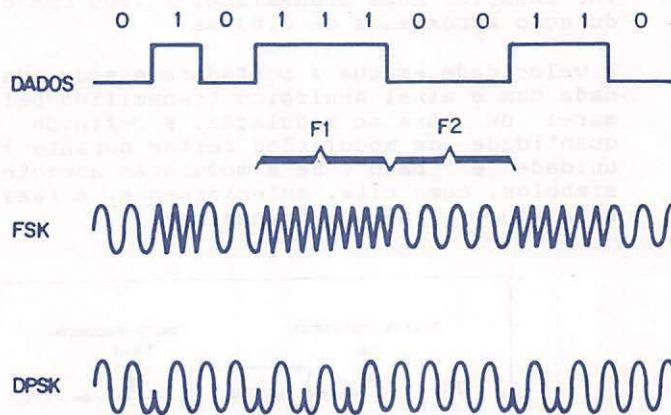


Fig.3.7 : Modulações FSK e DPSK

Na figura 3.7 os dados modulam as portadoras em dois níveis, ou seja, somente existem dois símbolos para cada processo de modulação:

Modulação	Símbolos
FSK DPSK	Frequências F1 e F2 Deslocamentos de fase 01 e 02

Observe que nos dois casos acima, a cada símbolo corresponde um bit.

Gostaria de falar agora sobre velocidade da transmissão e velocidade em que a portadora é modulada. Algumas pessoas confundem as duas coisas pois em certos casos elas tem realmente o mesmo valor numérico.

A velocidade de uma transmissão digital serial (taxa de transmissão) é medida em bits por segundo (bps), ou seja, indica quantos bits são transmitidos em 1 segundo.

$$T_t = \frac{1}{T} \quad ; \quad T = \text{duração de 1 bit [s]}$$

Por exemplo, numa transmissão a 1200 bps cada bit tem a duração aproximada de 0,83 ms.

A velocidade em que a portadora é modulada está relacionada com o sinal analógico transmitido pela linha e chamei de taxa de modulação. É definida como sendo a quantidade de modulações feitas durante 1 segundo e a unidade é "baud". Se a modulação somente possui dois símbolos, como citei anteriormente, a taxa de modulação será igual à taxa de transmissão.

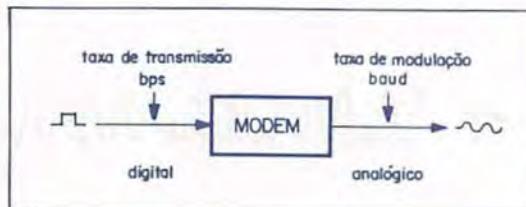


Fig.3.8 : Taxas de transmissão e modulação

No entanto, em transmissão de dados, também se utiliza modulações com mais de 2 símbolos, ou seja, a cada símbolo corresponde 2, 3 ou 4 bits. Nesses casos a taxa de transmissão será maior do que a taxa de modulação.

No caso mais geral temos :

$$T_m = \frac{1}{(T \cdot \log n)} = \frac{T_t}{\log n} \quad [\text{baud}]$$

Onde :
 T_m = taxa de modulação [baud]
 T = duração de 1 bit [s]
 n = quantidade de símbolos possíveis
 T_t = taxa de transmissão (velocidade) [bps]

O resultado do logaritmo na base 2 de "n" é exatamente o número de bits em cada símbolo, conforme você pode ver abaixo :

n	$\log n$ 2
2	1
4	2
8	3
16	4

A vantagem em se agrupar vários bits (2 a 4) para formar um símbolo é, justamente, conseguir uma taxa de modulação [baud] mais baixa que a velocidade de transmissão [bps].

Como sabemos, a linha telefônica genérica somente garante o tráfego de sinais contidos na faixa de frequência limitada entre 300 e 3400 Hz, ou seja, numa faixa de 3100Hz.

A faixa de frequência ocupada pelo sinal modulado depende basicamente da taxa de modulação, não da velocidade de transmissão. Por este motivo, a taxa de modulação fica praticamente limitada a 2400 baud em uma transmissão por linha telefônica.

Apesar da taxa de modulação estar limitada, a velocidade pode ir além de 2400 bps desde que se utilize uma modulação com mais de 2 símbolos.

A seguir você pode ver algumas relações utilizadas em transmissão de dados via linha telefônica .

velocidades	taxa	símbolos	bits/símbolo
1200 bps	1200 baud	2	1
2400 bps	1200 baud	4	2
4800 bps	1600 baud	8	3
9600 bps	2400 baud	16	4

Normalmente as modulações que utilizam 2 símbolos são do tipo FSK e as que utilizam mais de 2 são DPSK ou QAM.

O espectro ocupado por um sinal modulado é dado aproximadamente por :

$$B(FSK) = Tm \cdot (1+r) + (F2-F1)$$

$$B(QAM) = Tm \cdot (1+r)$$

Onde : $B(FSK)$ = espectro do sinal FSK [Hz]

$B(QAM)$ = espectro do sinal QAM
ou DPSK [Hz]

$F1$ = frequência de marca [Hz]

$F2$ = frequência de espaço [Hz]

Tm = taxa de modulação [baud]

r = fator de filtragem

O espectro FSK fica centrado em " $(F2-F1)/2 + F1$ ", e o espectro QAM fica centrado em " Fc ", que é a frequência da portadora senoidal.

O fator de filtragem " r " ("roll-off") corresponde ao grau de inclinação das bordas do filtro de transmissão do modem e seu valor vai de 0% (corresponde a um filtro ideal e não existe na prática) a 100%. Quanto menor o fator de filtragem, mais crítica é a geração do sinal por parte do modem.

Como o canal de voz corresponde a 3100 Hz, este valor não pode ser ultrapassado pelos espectros "B" citados.

Por exemplo, qual o espectro ocupado por um sinal FSK com as seguintes características ?

$$F1 = 1200 \text{ Hz} \quad (\text{marca})$$

$$F2 = 2400 \text{ Hz} \quad (\text{espaço})$$

$$Tm = 1200 \text{ baud} \quad (Tt = 1200 \text{ bps})$$

$$r = 50\%$$

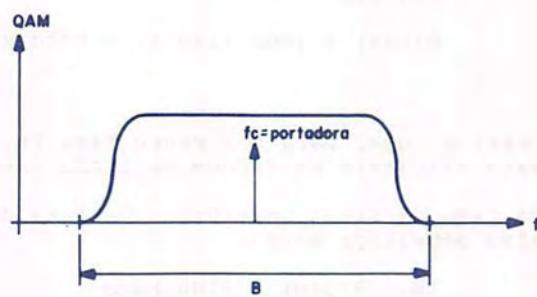
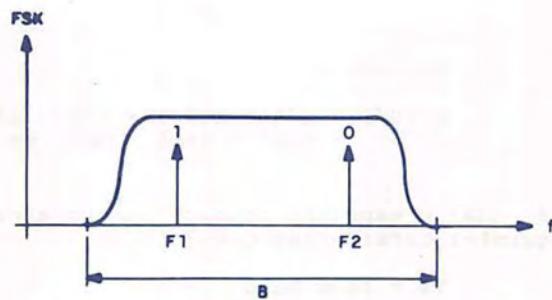


Fig.3.9 : Espectros FSK e QAM

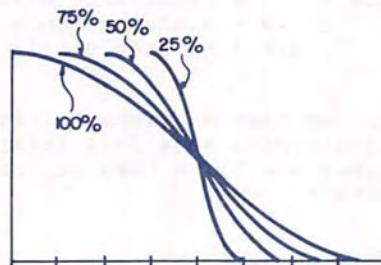


Fig. 3.10 : Fator de filtragem

Solução :

$$B(FSK) = (2400-1200) + 1200 \cdot (1+0,5) = \\ = 1200 + 1800 = 3000 \text{ Hz}$$

E qual o espectro ocupado por um sinal QAM com as seguintes características ?

$$T_m = 1600 \text{ baud} \\ r = 50\%$$

Solução :

$$B(QAM) = 1600 \cdot (1+0,5) = 2400 \text{ Hz}$$

Observe que, para uma mesma taxa T_m , a modulação QAM é mais eficiente em termos da banda passante necessária.

No caso da linha telefônica, a taxa de modulação QAM máxima permitida será :

$$T_m = B(QAM) = 3100 \text{ baud} \quad (r=0\%)$$

Um trabalho matemático, desenvolvido por Shannon, conclui que a capacidade teórica máxima de um canal contaminado por ruído branco é dada pela fórmula abaixo :

$$C = B \log_2 (1 + S/R)$$

onde : C = capacidade máxima do canal [bps]
 B = banda passante do canal [Hz]
 S/R = relação sinal ruído

Novamente, no caso da linha telefônica, supondo que a relação sinal-ruído seja 24dB (máximo especificado para as LPCD tipos N e B), a taxa de transmissão máxima conseguida será :

$$C = 3100 \log_2 (1 + 251) ; S/R = 10^{2.4} = 251$$

$$C = 3100 \cdot 8 = 24800 \text{ bps}$$

Chegamos a dois limites para a linha telefônica :

$$T_m \text{ máxima} = 3100 \text{ baud} \\ T_t \text{ máxima} = 24800 \text{ bps}$$

Então, qual será a quantidade máxima de bits por símbolo, possível de se transmitir nesta linha telefônica?

Veja, se $T_m = T_t / \log_2 n$

$$T_t/T_m = 24800/3100 = 8$$
$$\text{Então } n = 2^2 = 4$$

Podemos concluir que, no máximo, se consegue transmitir 8 bits por símbolo, o que levaria a um total de 256 símbolos possíveis.

Compare esses limites com as relações utilizadas na prática, que citei anteriormente, e tire suas conclusões.

Observe que, para calcular esses limites, de todas as degenerações impostas pela linha, considerei somente o ruído branco, quando utilizei a fórmula de Shannon, além de ter utilizado $r=0$ o que é um caso limite e difícil de alcançar.

Você viu pela figura 3.7 que a modulação DPSK associa um deslocamento de fase a cada símbolo e agora vamos utilizar uma representação fasorial para representá-la: utilizaremos um diagrama fasorial onde cada ponto representa um possível símbolo com seu deslocamento de fase correspondente. Chamarei este diagrama de constelação.

A distância do ponto ao centro dos eixos corresponde à amplitude, e sua posição angular em relação ao eixo horizontal (X) corresponde ao deslocamento de fase do símbolo.

A = Amplitude da portadora
 $\Delta\bar{\phi}$ = Defasagem da portadora com relação ao símbolo anterior (no tempo).
 $x = A \cdot \cos(\Delta\bar{\phi})$ = componente na quadratura X
 $y = A \cdot \sin(\Delta\bar{\phi})$ = componente na quadratura Y

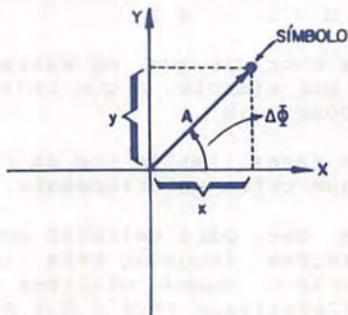


Fig.3.11 : Representação de um símbolo

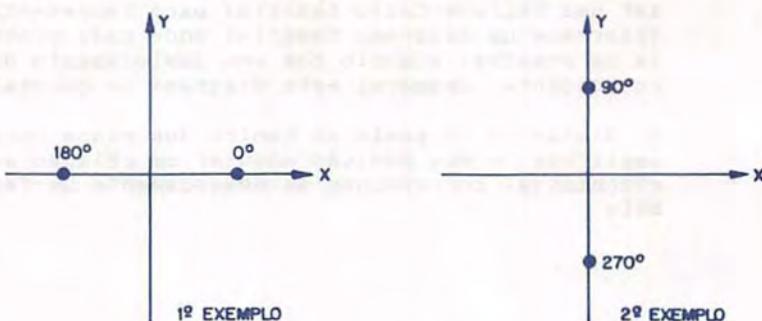


Fig.3.12 : DPSK - 2 símbolos

A figura 3.12 mostra duas constelações possíveis para uma modulação DPSK com 2 símbolos. Naturalmente existe uma infinidade de constelações possíveis, mas normalmente se utiliza aquelas cujos pontos estão igualmente distribuídos em ângulo. No primeiro exemplo existe um símbolo correspondente a "0" graus e outro a "180" graus e no segundo existe um símbolo correspondente a "90" graus e outro a "270" graus.

A figura 3.13 mostra uma constelação com 4 símbolos e outra com 8.

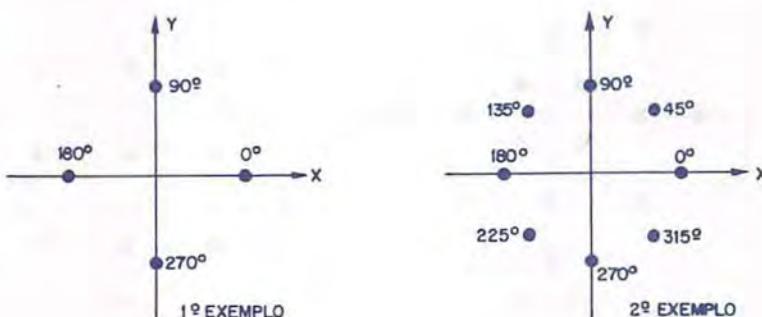


Fig.3.13 : DPSK - 4 e 8 símbolos

Observe que em todos os casos apresentados nas figuras 3.12 e 3.13 os símbolos possíveis estão igualmente espaçados em ângulo e contidos em um círculo cujo raio corresponde à amplitude da portadora.

Para modulações com mais de 8 símbolos, a defasagem entre símbolos fica muito pequena tornando o sinal muito sensível a distorções de fase. Por este motivo as modulações com 16 símbolos utilizam diferentes amplitudes a fim de diminuir a sensibilidade a distorções e oscilações de fase.

A modulação que utiliza deslocamento de fase e amplitude é chamada de QAM.

A figura 3.14 mostra duas constelações utilizadas em modems 9600 bps cuja taxa de modulação é de 2400 baud.

A primeira se refere à recomendação CCITT V29 acatada também no Brasil, e a segunda se refere à norma Bell 209 utilizada nos Estados Unidos.

Compare as figuras 3.13 e 3.14. Verifique que a modulação DPSK pode ser considerada como um caso particular da modulação QAM, onde a amplitude dos possíveis símbolos é constante.

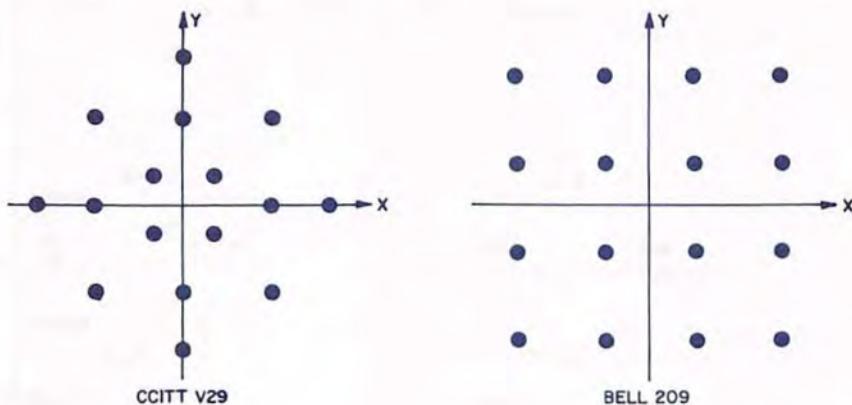


Fig.3.14 : QAM - 16 símbolos

No caso da modulação QAM, o sinal transmitido pela linha terá um aspecto semelhante ao ilustrado na figura 3.15

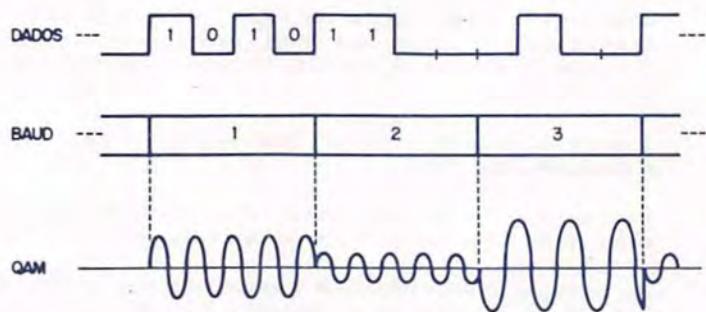


Fig.3.15 : Modulação QAM

4 MODEM

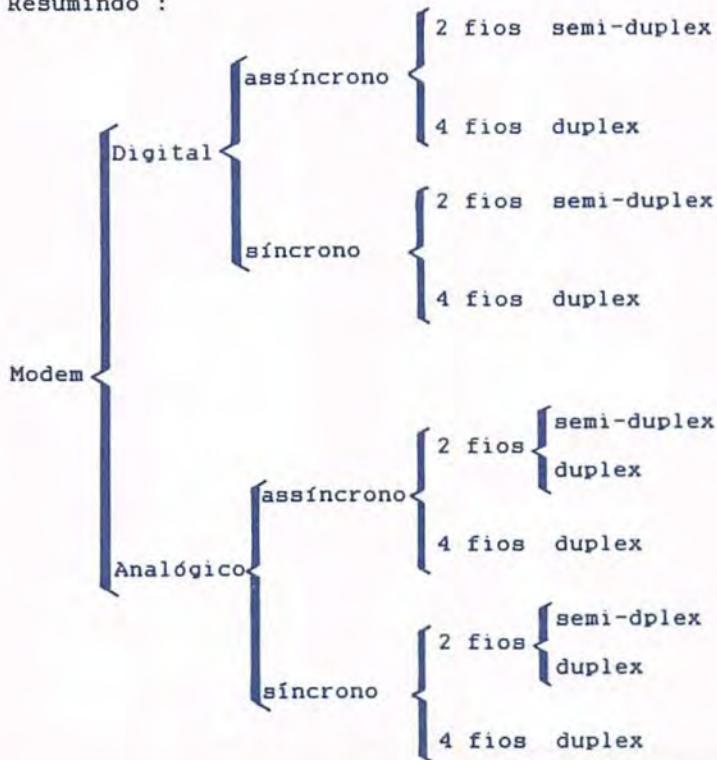
O equipamento responsável pela transmissão de dados nas linhas telefônicas é o modem. Seu nome é a contração das palavras Módulador e Demodulador pois essas são suas principais funções.

Na prática, os modems são divididos em duas classes, conforme você viu no capítulo 3 : modem digital (ou banda-base), que codifica e decodifica, e modem analógico, que modula e demodula efetivamente. A rigor não poderíamos chamar o banda-base de modem, pois neste caso não existe o processo de modulação e demodulação. Talvez fosse mais adequado chamá-lo de "codificador para transmissão de dados em distância limitada", mas na realidade são chamados de "modem digital", "modem banda-base" ou "modem de distância limitada".

Os modems podem ser síncronos ou assíncronos.

Os modems podem ainda operar a 2 ou 4 fios de forma semi-duplex ou duplex.

Resumindo :



Podemos ter um modem analógico que opere, por exemplo, assíncrono, a 2 fios, semi-duplex. Nada impede que um mesmo modem possa operar em vários modos.

Outra característica importante é a velocidade de operação do modem, que normalmente é especificada em múltiplos de 75 bps. Nem sempre a velocidade de transmissão é a mesma da recepção e por isso vou me referir à velocidade do modem da seguinte forma :

$V1/V2$

onde $V1$ = Velocidade de recepção
 $V2$ = Velocidade de transmissão

4.1 MODEM ANALÓGICO

O CCITT, cuja base é em Genebra, emitiu várias recomendações para modems analógicos, acatadas atualmente em vários países do mundo, inclusive no Brasil.

Muitas vezes se faz referência ao tipo de modem conforme a recomendação CCITT que ele segue, por isso analisarei os tipos citados abaixo, que são os mais comuns.

CCITT	velocidade máx. [bps]	síncrono assíncrono	Modulação	Meio de transmissão
V21	300	assíncrono	FSK	c. de voz
V22	1200	ambos	DPSK	c. de voz
V22bis	2400	ambos	DPSK	c. de voz
V23	1200	assíncrono	FSK	c. de voz
V26	2400	síncrono	DPSK	c. de voz
V27	4800	síncrono	DPSK	c. de voz
V29	9600	síncrono	QAM	c. de voz
V36	64000	síncrono	AM-SSB	Grupo básico

Descreverei, com detalhes, cada tipo de modem relacionando acima, com exceção do V36, pois fugiria ao meu assunto principal, que diz respeito à transmissão de dados pela linha telefônica. Achei, no entanto, conveniente citá-lo aqui, porque é um componente importante em alguns grandes sistemas de teleprocessamento, que abordarei no capítulo 6.

O modem V36, que pertence a uma classe chamada de "modems faixa larga", utiliza a modulação em amplitude "AM-SSB" e possui um espectro de saída situado entre 60 e 108 KHz. Normalmente é utilizado para transmitir dados, resultantes de uma multiplexação(TDM) de vários canais de mais baixa velocidade, em circuitos privativos.

Quanto aos modems para canal de voz, os dividirei em três classes :

assíncrono = V21 e V23
síncrono = V26, V27 e V29
síncrono/assíncrono = V22 e V22bis

Na classe V27 estarei incluindo os tipos V27bis e V27ter que são evoluções do tipo V27 e na classe V26 estarei incluindo o tipo V26bis que também é uma evolução do tipo V26.

Para cada classe citada anteriormente, apresentarei um diagrama em blocos. Decreverei cada bloco de circuito de forma que as características particulares a cada tipo de modem fiquem evidenciadas.

Alguns blocos de circuito são comuns a mais de uma classe de modems. Caso você não encontre a descrição de um bloco, refira-se ao mesmo bloco, descrito para a classe imediatamente anterior.

4.1.1 MODEMS ASSÍNCRONOS V21 E V23

Estes modems utilizam a modulação FSK (deslocamento de frequência) e são os mais simples da série que vou apresentar.

A seguir farei a descrição de cada bloco apresentado na figura 4.3.

INTERFACE RS232

Este circuito converte o nível dos sinais digitais presentes na interface para o nível utilizado internamente no modem.

A conexão MODEM-ETD é feita através desta interface, padronizada internacionalmente, que utiliza um conector fêmea de 25 pinos (veja §4.3).

MODULADOR FSK

Este circuito tem a função de gerar as frequências associadas a cada bit de dados : ao bit "0" corresponde uma frequência e ao bit "1" corresponde outra frequência.

Normalmente é um circuito oscilador controlado por uma voltagem. Quando a entrada do oscilador é "0 volt" (espaço) ele gera a frequência de espaço e quando a entrada é "+5 volt" (marca) ele gera a frequência de marca.



Fig.4.1 : Modulador FSK

MODEM V21

Este modem, por ser de baixa velocidade ($T_t=300$ bps) permite operar duplex a 300/300 bps utilizando somente dois fios, pois o espectro ocupado pelo transmissor é estreito em relação ao canal de voz.

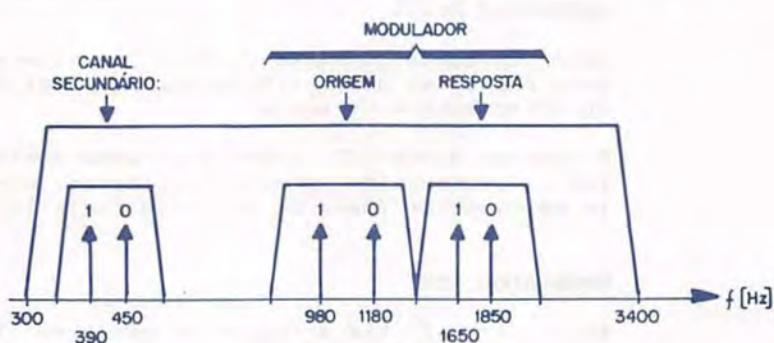


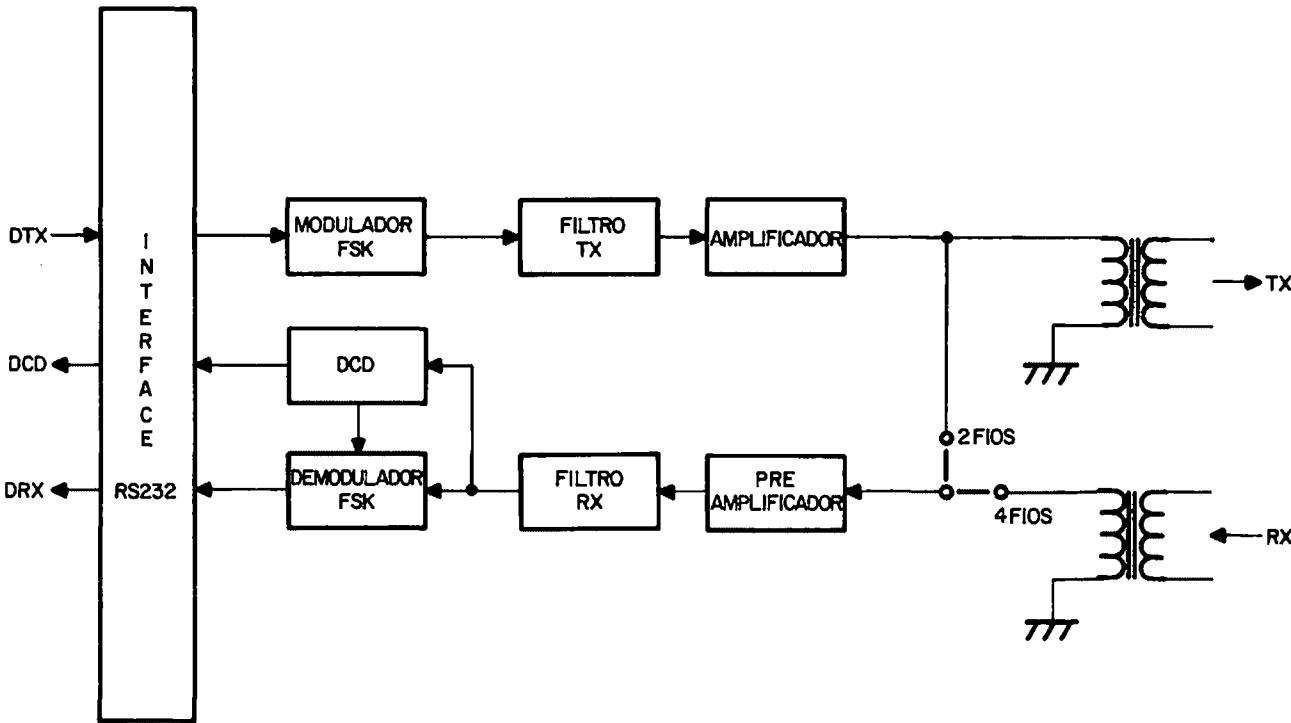
Fig.4.2 : Espectro V21

Desta forma, duas faixas de frequência, distintas, foram alocadas: uma para o sinal de transmissão e outra para o sinal de recepção.

Além das duas faixas principais, uma outra, chamada de canal secundário, foi alocada na parte inferior do canal de voz.

Ao canal secundário fica reservada uma faixa de frequência suficiente para a transmissão de dados em velocidade mais baixa (75 bps), para alguma aplicação especial.

FIG. 4.3 : Modem assíncrono (V21 e V23)



Este modem pode operar no modo origem (modem que faz a chamada) ou no modo resposta (modem que atende à chamada).

Quando o modem opera no modo origem, seu modulador utiliza a faixa inferior e seu demodulador opera na faixa superior.

Naturalmente um modem no modo origem só pode se comunicar com outro no modo resposta cujo modulador estará utilizando a faixa superior.

Alguns modems V21 utilizam o canal secundário somente para enviar tons de teste cuja finalidade é solicitar ao modem remoto que ative seus enlaces :

Digital : 390 Hz

Analógico : 450 Hz

MODEM V23

Este modem, operando a 1200 bps, ocupa uma faixa maior que o V21, não sendo mais possível fazer uma comunicação duplex a 1200/1200 bps utilizando dois fios.

No entanto, ainda há espaço no canal de voz para o canal de baixa velocidade (chamado de canal secundário ou canal reverso quando opera no sentido inverso do canal principal) operar a 75 bps.

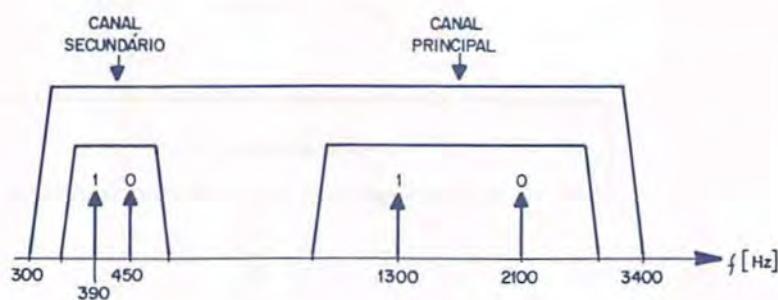


Fig.4.4 : Espectro V23

Os modos de operação utilizados para esse tipo de modem são :

1200/1200	duplex	a 4 fios
1200/1200	semi-duplex	a 2 fios
1200/75	duplex	a 2 fios
75/1200	duplex	a 2 fios

No primeiro modo o canal secundário pode ser utilizado para os tons de teste e nos dois últimos o canal secundário é utilizado para veicular os dados a 75 bps.

Naturalmente, um modem operando a 1200/75 deve se comunicar com outro a 75/1200 bps, como é o caso do Vídeo-texto, por exemplo.

FILTRO TX

O filtro de transmissão tem a finalidade de limitar o espectro do sinal de saída dentro do canal de interesse, evitando causar interferência em outras faixas (canal secundário, por exemplo).

AMPLIFICADOR

Este circuito é responsável pela transmissão do sinal a um nível adequado. Ele estabelece o nível de transmissão do modem, permitindo selecionar entre alguns valores, normalmente iniciando em 0 dBm (nível máximo permitido pelas concessionárias para a transmissão de dados nas linhas telefônicas) e indo até níveis mais baixos.

O sinal de saída do amplificador vai para a linha telefônica através de um transformador, convertendo ao par de transmissão (TX).

Observe que, quando o modem estiver operando a 2 fios, o transformador TX também terá a função de passar o sinal de recepção para o pré-amplificador. Veja na figura 4.3 a seleção 2/4 fios.

PRÉ-AMPLIFICADOR

Este circuito amplifica o sinal de recepção para um nível mais adequado ao próximo bloco, que neste caso, é o filtro RX.

FILTRO RX

Este circuito tem a finalidade de limitar o sinal recebido dentro do canal de interesse. No modem V21 este circuito é muito importante pois tem a função de evitar que o canal de transmissão retorne para a recepção.

DCD

Este circuito tem a finalidade de avaliar se há sinal de recepção acima de um limiar pré-determinado. Normalmente os modems permitem selecionar este limiar entre dois valores. Um deles é "-43 dBm" e o outro, em geral, é "-33 dBm" ou "-26 dBm".

Quando o nível do sinal de recepção está acima do limiar selecionado, este circuito gera um sinal DCD = "1" ("data carrier detected") que é enviado ao ETD através da interface RS232, informando que o modem está recebendo portadora (recebendo sinal do modem remoto).

Este circuito possui uma histerese mínima de 2 dB associada à sua operação, o que evita uma possível instabilidade quando o sinal recebido estiver com seu nível em torno do limiar de ativação.

Desta forma, o limiar de desativação fica abaixo do limiar de ativação, e a diferença entre os dois é exatamente a histerese.

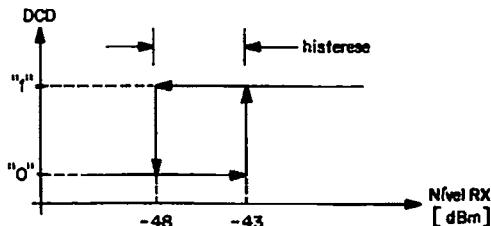


Fig.4.5 : Histerese do DCD

Quando o nível do sinal de recepção cai abaixo do limiar de desativação, o circuito faz DCD = "0", indicando que não há portadora, e bloqueia o demodulador para que este não gera dados falsos devido ao ruído.

Existe, associado a todo circuito de DCD, um re-tardo entre a presença do sinal na linha e a ativação do DCD na interface digital.

DEMODULADOR FSK

Este circuito é responsável pela demodulação do sinal FSK recebido.

Normalmente é um discriminador que identifica as frequências de marca e espaço, recompondo os dados digitais que serão passados ao ETD como DRX.

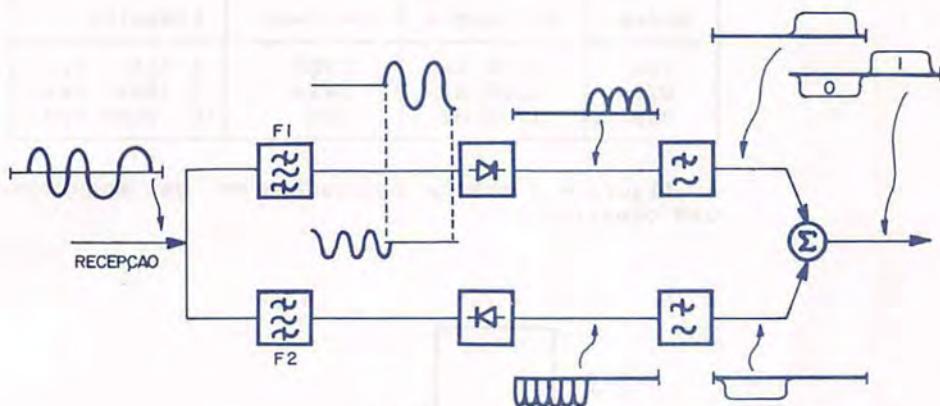


Fig.4.6 : Demodulador FSK

O sinal de recepção segue dois caminhos : um que passa pelo filtro F1 (centrado na frequência de marca) e outro que passa pelo filtro F2 (centrado na frequência de espaço). Os sinais filtrados são retificados, cada um com uma polaridade, passam por filtros e são somados. O sinal obtido nesta operação é a sequência de dados transmitidos.

4.1.2 MODEMS SÍNCRONOS V26, V27 E V29

Os modems V26 e V27 utilizam a modulação DPSK (deslocamento diferencial de fase) e o modem V29 utiliza a modulação QAM ("Quadrature Amplitude Modulation").

Na verdade, podemos considerar a modulação DPSK dos modems V26 e V27 como sendo um QAM simplificado, como citei anteriormente.

Farei, a seguir, a descrição dos blocos apresentados na figura 4.8.

MODULADOR QAM

Este circuito tem a função de modular uma portadora senoidal, conforme o tipo de modem.

Modem	Portadora	Modulador	Símbolos
V26	1800 Hz	DPSK	4 (2400 bps)
V27	1800 Hz	DPSK	8 (4800 bps)
V29	1700 Hz	QAM	16 (9600 bps)

A figura 4.7 mostra o diagrama de um modulador QAM genérico.

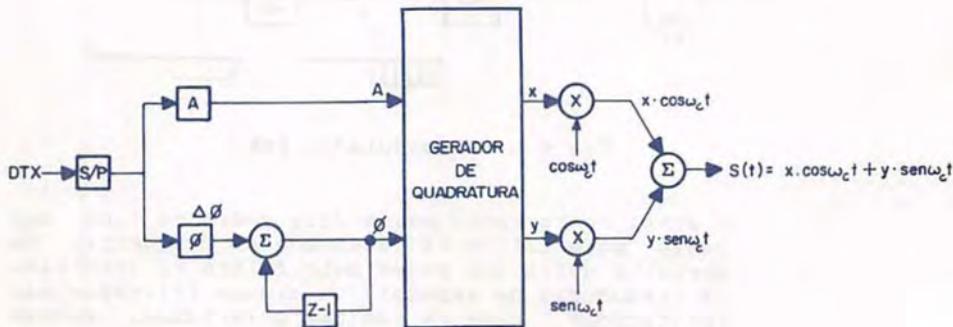
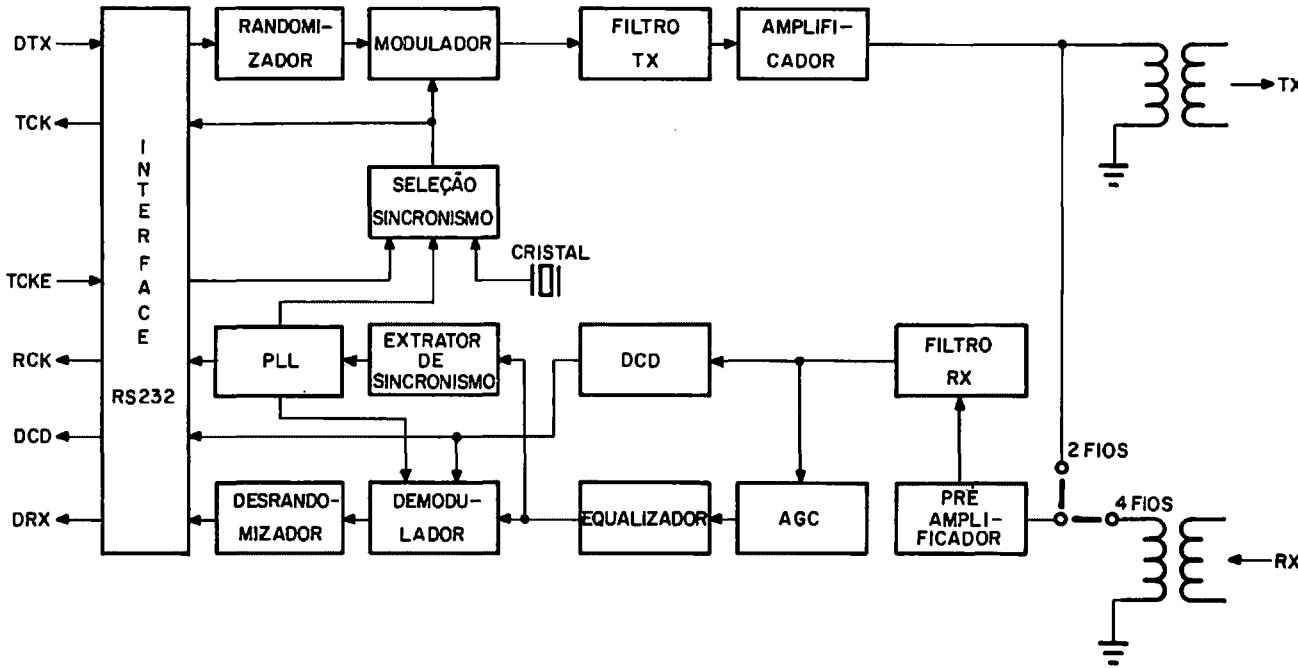


Fig.4.7 : Modulador QAM

Fig.4.8 : Modem síncrono (V26, V27 e V29)



Os dados seriais a serem transmitidos são convertidos para paralelo, pelo conversor S/P, em grupos de bits conforme a velocidade e o tipo do modem. Cada grupo de bits corresponde a um símbolo.

velocidade [bps]	bits agrupados	modems
1200	1	V26
2400	2	V26 e V27
4800	3 (2)	V27 (V29)
7200	3	V29
9600	4	V29

Os bits em paralelo alimentam os circuitos de fase (0) e amplitude (A) que geram as informações de fase e amplitude. Como a informação de fase é diferencial, ela passa por um integrador a fim de fornecer a fase real do sinal de saída.

Essas duas informações vão a um gerador de quadratura que determina a amplitude de cada coordenada (x e y) do símbolo. Estas amplitudes são multiplicadas pelo sinal em quadratura correspondente ($\cos wct$ ou $\sin wct$) e depois somadas, gerando assim o sinal modulado.

$$\begin{aligned}
 S(t) &= A \cdot \cos(wct + \phi) \\
 &= A \cdot (\cos wct \cdot \cos \phi - \sin wct \cdot \sin \phi) \\
 &= \underbrace{A \cdot \cos \phi \cdot \cos wct}_{x} - \underbrace{A \cdot \sin \phi \cdot \sin wct}_{y}
 \end{aligned}$$

$$S(t) = x \cdot \cos wct + y \cdot \sin wct$$

MODEM V26

Este modem pode transmitir a 1200 ou a 2400 bps sempre na taxa de 1200 baud e você pode ver suas possíveis constelações de símbolos na figura 4.9.

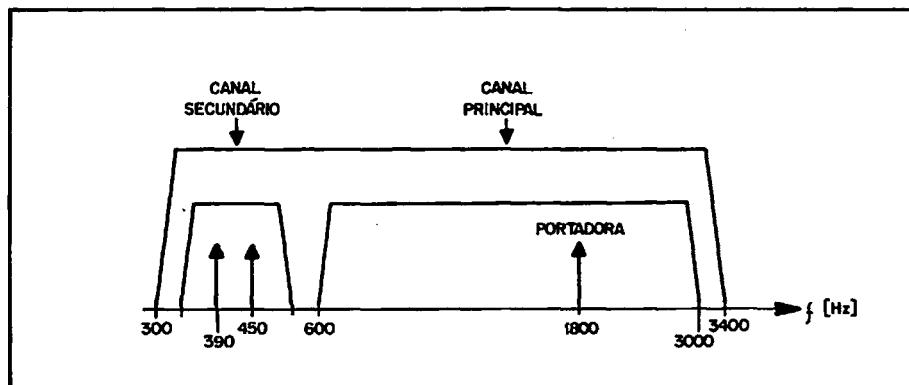
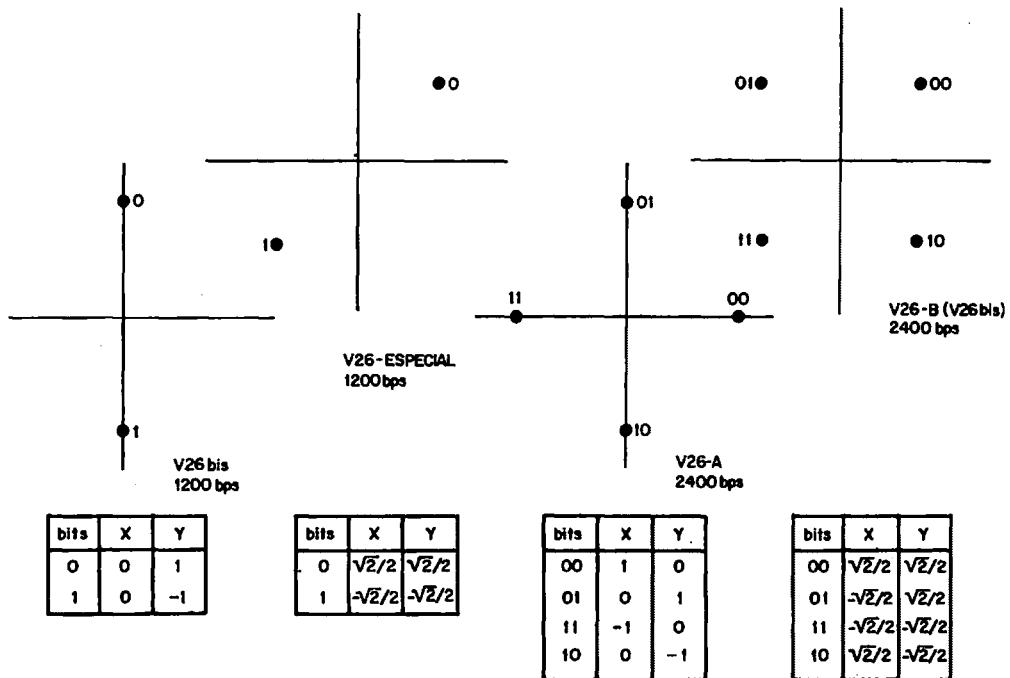


Fig. 4.9 : Constelações e espectro V26

A recomendação V26 especifica somente a transmissão a 2400 bps nos padrões A e B e a recomendação V26bis especifica a modulação a 2400 bps no padrão B e a modulação a 1200 bps.

Normalmente os modems V26 possuem os dois padrões de 2400 bps e o padrão V26 bis para 1200 bps. Alguns modems também possuem 1200 bps no padrão especial onde "0" = 45 graus e "1" = 225 graus conforme mostra a figura 4.9.

O espectro de transmissão do modem V26 permite incluir um canal secundário que normalmente é utilizado para enviar os tons de teste para ativação de enlaces no modem remoto :

Digital : 390 Hz
Analógico : 450 Hz

Alguns modems V26 utilizam o canal secundário como canal reverso, transmitindo dados a 75 bps com modulação FSK. No entanto este modo de operação não é comum.

MODEM V27

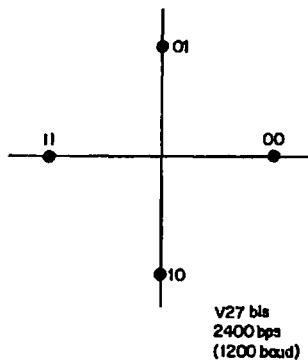
Este modem pode transmitir a 2400 ou 4800 bps e você pode ver suas possíveis constelações de símbolos na figura 4.10.

A recomendação V27 somente especifica a transmissão a 4800 bps e a recomendação V27bis especifica as duas velocidades.

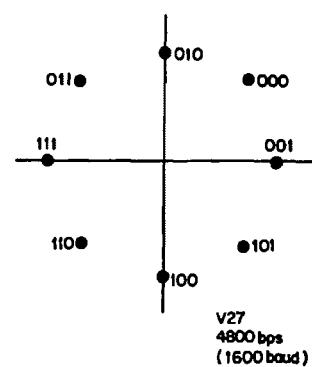
A recomendação V27 especifica um modem a 4800 bps para operar em linhas privativas com equalizador manual.

A recomendação V27bis especifica um modem 4800 ou 2400 bps para operar em linhas privativas com equalizador automático e a V27ter especifica um modem para operar em linhas comutadas.

O espectro de transmissão é similar ao do V26, podendo ser utilizado o canal secundário.



V27 bis
2400 bps
(1200 baud)



V27
4800 bps
(1600 baud)

bits	X	Y
00	1	0
01	0	1
11	-1	0
10	0	-1

bits	X	Y
001	1	0
000	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$
010	0	1
011	$-\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$
111	-1	0
110	$-\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$
100	0	-1
101	$\sqrt{2}/2$	$-\sqrt{2}/2$

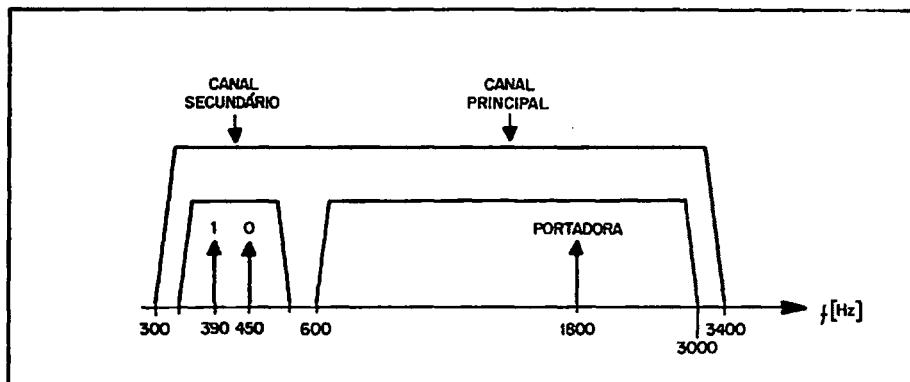


Fig.4.10 : Constelações e espectro V27

MODEM V29

Este modem pode transmitir a 4800, 7200 ou 9600 bps e você pode ver suas possíveis constelações de símbolos na figura 4.11.

A modulação do modem V29 é do tipo QAM e por isto contém símbolos de diferentes amplitudes, o que não acontece com o V26 e o V27.

Cada grupo de 4 bits (quadribit) entra no modulador da esquerda para a direita :

Q1, Q2, Q3, Q4.

O bit Q1 dá a informação de amplitude, sendo "0" = menor e "1" = maior.

Os demais bits dão a informação da variação de fase a ser feita com relação ao símbolo anterior.

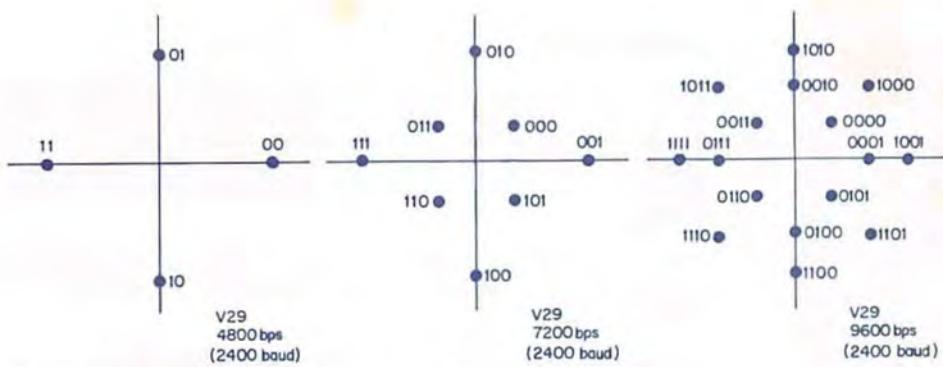
Q2	Q3	Q4	variação de fase
0	0	1	00
0	0	0	450
0	1	0	900
0	1	1	1350
1	1	1	1800
1	1	0	2250
1	0	0	2700
1	0	1	3150

Sua taxa de modulação é 2400 baud, qualquer que seja a velocidade.

No caso da transmissão a 7200 bps o modem considera um símbolo com 4 bits onde o primeiro é sempre "0".

No caso da transmissão a 4800 bps este modem agrupa dois bits em cada símbolo, mas continua transmitindo o quadribit onde Q1="0", Q2 e Q3 são os dois bits de dados a transmitir e Q4 é o "ou-exclusivo" invertido de Q2 e Q3.

O seu espectro já não permite a inclusão do canal secundário sem comprometer o desempenho do modem.



bits	X	Y
00	3	0
01	0	3
11	-3	0
10	0	-3

bits	X	Y
001	3	0
000	1	1
010	0	3
011	-1	1
111	-3	0
110	-1	-1
100	0	-3
101	1	-1

bits	X	Y
0001	3	0
1001	5	0
0000	1	1
1000	3	3
0010	0	3
1010	0	5
0011	-1	1
1011	-3	3
0111	-3	0
1111	-5	0
0110	-1	-1
1110	-3	-3
0100	0	-3
1100	0	-5
0101	1	-1
1101	3	-3

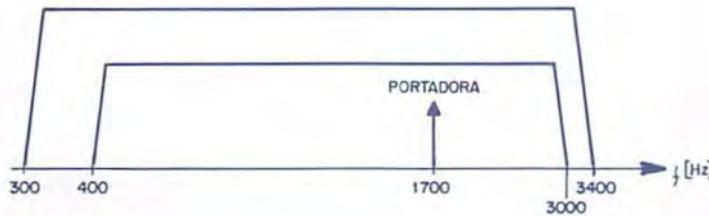


Fig.4.11 : Constelações e espetro V29

RANDOMIZADOR

Este circuito tem a função de tornar a sequência de bits de dados a mais aleatória possível a fim de se garantir um melhor espalhamento da energia transmitida, o que é muito importante quando o modem possui na recepção um equalizador digital adaptativo.

Os modems V26 normalmente não possuem randomizadores pois, em geral, só possuem equalizadores analógicos fixos.

Os modems V27 e V29 são bem mais complexos e possuem o randomizador.

O desrandomizador é o circuito que recompõe a sequência original transmitida.

No apêndice A.4 descrevo com detalhes esse tipo de circuito.

AGC

Este circuito é chamado de AGC ("Automatic Gain Control") ou seja, controle automático de ganho, porque ele é um amplificador de ganho variável que permite obter um nível fixo na saída apesar do sinal de entrada variar dentro de uma determinada faixa. A variação permitida para o nível do sinal de entrada é chamada de dinâmica do AGC.

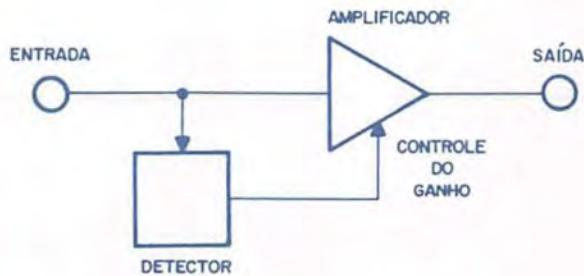


Fig.4.12 :AGC

Por exemplo, se um determinado circuito AGC garante uma saída de 0 dBm para sinais de entrada entre -40 dBm e -10 dBm, sua dinâmica é de 30 dB.

Sua função é muito importante pois além de combater eventuais oscilações de amplitude presentes no sinal recebido, fornece um sinal de nível constante na saída, condição esta exigida por alguns tipos de equalizadores e demoduladores, e, principalmente, pelo circuito de amostragem existente nos modems baseados em processamento digital de sinais.

Normalmente os circuitos de AGC são analógicos, ou seja, são implementados com circuitos lineares, mas existem aqueles que possuem parte de suas funções (normalmente o detector) implementada pelo processador de sinais.

EQUALIZADOR

Este circuito é muito importante nesta categoria de modems, tendo como finalidade compensar as distorções de amplitude e fase introduzidas pela linha telefônica.

Basicamente dois tipos de equalizadores são encontrados nesses modems :

- Analógico fixo
- Digital adaptativo

a) Analógico fixo :

São chamados de "análogo" porque são construídos com circuitos integrados analógicos (amplificadores operacionais em geral) e "fixo" porque seus parâmetros são fixos, ou seja, não variam com o tempo ou com as condições da linha.

Estes equalizadores possuem uma curva de compensação fixa, que é determinada estatisticamente, ou seja, ela compensa a distorção mais provável de ser introduzida pela linha telefônica. Por isso, às vezes esses equalizadores são chamados de equalizadores estatísticos.

Normalmente eles são de dois tipos :

- Fixo { de amplitude
- { de fase

O equalizador de amplitude compensa somente as distorções de amplitude (atenuação) e o de fase somente as distorções de fase (retardo de grupo).

Normalmente estes circuitos são selecionáveis por meio de estrapes, ou seja, pode-se eliminar suas atividades - isso é especialmente útil quando o modem opera em linha privativa de pouca distorção.

A figura abaixo mostra as curvas típicas desses dois tipos de equalizadores.

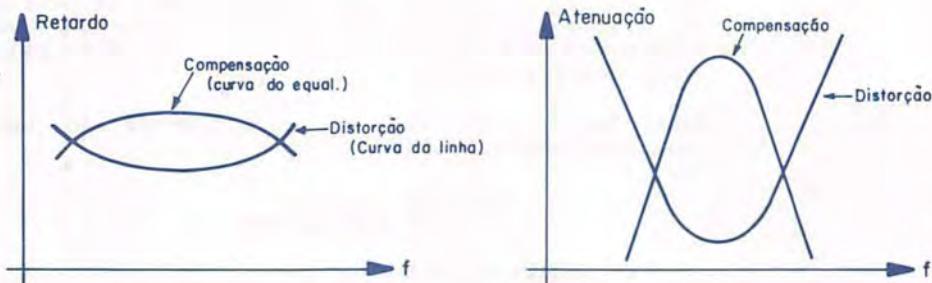


Fig.4.13 : Curvas - equalizadores fixos

b) Digital adaptativo

São chamados de "digital" porque são implementados por processamento digital de sinais e "adaptativo" porque eles se adaptam à condição de linha, ou seja, variam seus parâmetros com o tempo a fim de minimizar a distorção contida no sinal recebido.

Os equalizadores digitais utilizam uma estratégia diferente daqueles analógicos fixos, que consiste em tentar diminuir a probabilidade de erro durante a decisão do símbolo ao invés de compensar especificamente as distorções de retardo e amplitude.

Este equalizador é um filtro digital transversal cujos coeficientes são ajustados periodicamente em função dos erros obtidos nas decisões, conforme você pode ver na figura 4.14.

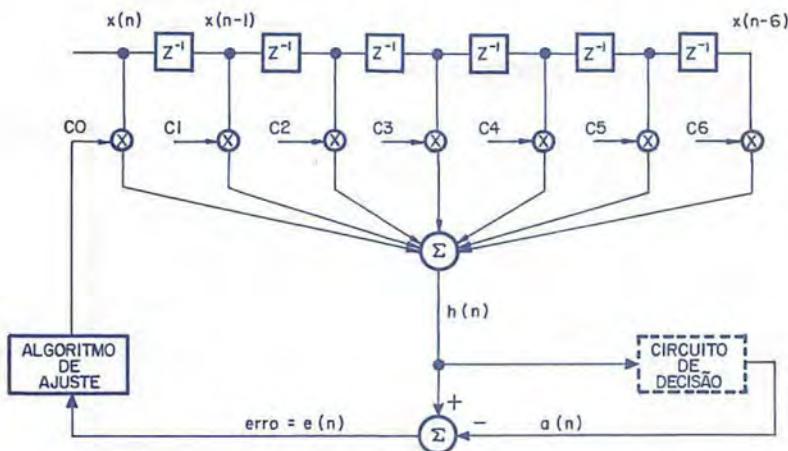


Fig.4.14 : Equalizador digital adaptativo

O sinal de entrada $x(n)$ é uma série de amostras do sinal analógico recebido, tomados a intervalos de tempo constantes, ou seja, numa frequência de amostragem fixa.

A figura mostra um equalizador com 7 coeficientes (7 taps), C_0 até C_6 , como exemplo, mas nos modems o número de coeficientes varia de 15 a 70.

O sinal de saída do equalizador, $h(n)$, vai ao circuito de decisão, que faz parte do demodulador.

$$h(n) = C_0 \cdot x(n) + C_1 \cdot x(n-1) + \dots + C_6 \cdot x(n-6).$$

A saída do circuito de decisão, $a(n)$, corresponde a um símbolo ideal, que supõe-se, ter sido fruto de uma decisão correta.

O erro de cada decisão é facilmente calculado pela simples subtração.

$$e(n) = h(n) - a(n)$$

Os erros $e(n)$, obtidos a cada decisão realizada, são utilizados para ajustar os valores dos coeficientes do equalizador, segundo algum algoritmo que force o próximo erro a ser menor.

Normalmente os modems V26 não possuem esse tipo de equalizador, mas os modems V27 e V29 certamente sim.

DEMODULADOR

Este circuito é responsável pela demodulação do sinal QAM (ou DPSK) recebido, a fim de extrair os dados de recepção.

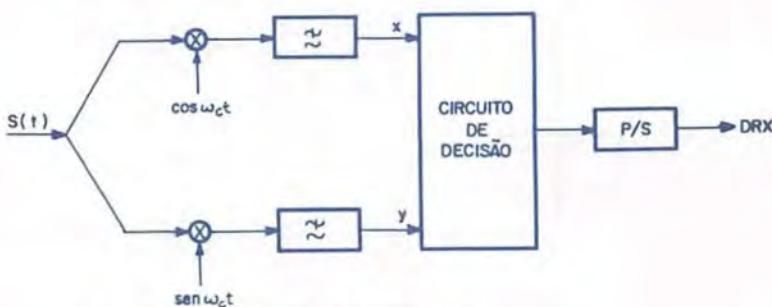


Fig.4.15 : Demodulador QAM

O sinal de recepção é, inicialmente, separado em suas duas componentes em quadratura, pela multiplicação dos sinais seno e cosseno e respectiva filtragem.

As componentes x e y do sinal recebido alimentam o circuito de decisão que extrai os bits de informação contidos no símbolo.

Finalmente um conversor paralelo/série reconstitui a sequência de dados (DRX).

Nos modems V27 e V29 atuais, toda essa operação é feita por processamento digital de sinais.

Nos modems V26 encontra-se demoduladores implementados com circuitos lineares e outros que fazem uso da técnica da frequência intermediária (FI) a fim de fazer a demodulação pela detecção da fase do sinal FI ao invés de separá-lo em suas componentes em quadratura - neste caso o esquema da figura 4.15 não se aplica.

EXTRATOR DE SINCRONISMO

Este circuito tem a função de extrair, do sinal de recepção, a informação de sincronismo.

O sinal recebido possui uma forte componente da taxa de modulação imposta na linha e, por isto, este circuito normalmente é um filtro sintonizado nessa frequência.

Nos modems V27 e V29 mais modernos esses filtros são implementados por processamento digital de sinais.

PLL

Este circuito tem a função de compensar eventuais diferenças de frequência e fase entre o sinal de entrada e o sinal de saída desejado.

No caso dos modems síncronos existe um circuito PLL para compensar eventuais desvios e oscilações na frequência do sincronismo regenerado.

O PLL é um sistema realimentado cujo diagrama você pode ver na figura abaixo.

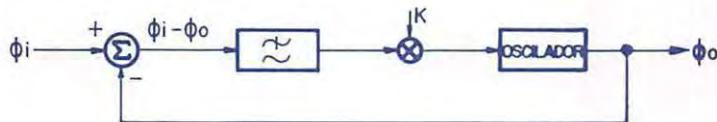


Fig.4.16 : PLL

Um oscilador controlado gera um sinal ϕ_o cuja frequência e fase seguirão aquelas do sinal de entrada ϕ_i .

A diferença de fase $\phi_i - \phi_o$, entre os sinais de entrada e saída, é constantemente calculada e esta função resultante é filtrada a fim de se evitar variações bruscas de fase no sinal de saída.

A diferença de fase filtrada e ajustada por uma constante "k" controla o oscilador de tal forma que este avança sua fase quando o controle for positivo e atrasa sua fase quando o controle for negativo.

O PLL, portanto, garante um sinal de saída sem variações bruscas de fase, mesmo que o sinal de entrada as possua. Esta característica é importante para o demodulador.

SELEÇÃO DE SÍNCRONISMO

Este circuito fornece o síncronismo de transmissão para o modulador.

A origem do síncronismo de transmissão é escolhida por meio de chaves ou estrapes localizados no cartão do modem, que comandam o circuito de seleção.

Interno	= Síncronismo interno, normalmente gerado por um oscilador a cristal.
Externo(TCKE)	= Gerado pelo ETD.
Regenerado(RCK)	= Extraído do sinal de recepção e, normalmente ajustado pelo PLL.

4.1.3 MODEMS SÍNCRONOS/ASSÍNCRONOS V22 e V22bis

Esta classe corresponde aos modems síncronos e assíncronos que operam duplex em 2 fios. O modem V22 utiliza a modulação DPSK e o modem V22bis utiliza a modulação QAM.

A transmissão desses modems é sempre síncrona e eles utilizam a multiplexação em frequência para conseguir a comunicação duplex em apenas dois fios, de forma semelhante ao modem tipo V21.

A comunicação assíncrona é conseguida devido a um circuito conversor "assíncrono/síncrono" que faz parte integrante desses modems, como você pode ver no diagrama em blocos apresentado a seguir.

MODULADOR QAM

Este circuito, similar ao que descrevi anteriormente, tem a função de modular uma portadora senoidal, cuja frequência vai depender do modo de operação do modem (O/R = origem/resposta) :

Modem	Portadora		Modulador	Símbolos
	Origem	Resposta		
V22	1200 Hz	2400 Hz	DPSK	4 (1200 bps)
V22bis	1200 Hz	2400 Hz	QAM	16 (2400 bps)

O espectro de transmissão é exatamente o mesmo para esses dois tipos de modems, como você pode ver nas figuras 4.18 e 4.19.

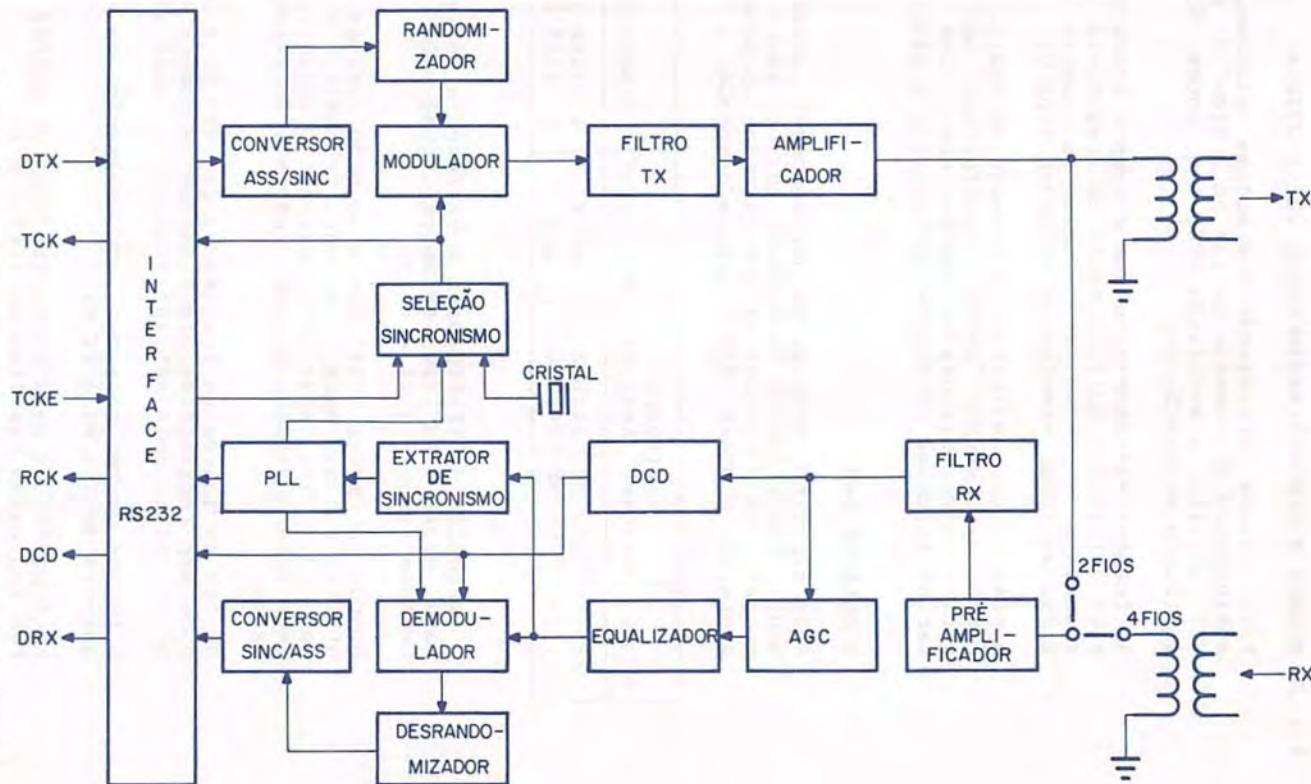
Quando o modem local opera no modo origem ele utiliza o canal mais baixo para transmitir e recebe pelo canal mais alto enquanto o modem remoto deve estar operando no modo resposta de forma inversa.

Um tom de guarda na frequência de $1800 \text{ Hz} \pm 20 \text{ Hz}$ pode ser transmitido simultaneamente com o sinal principal se este estiver ocupando o canal alto.

O tom de guarda pode ser, opcionalmente, na frequência de $550 \text{ Hz} \pm 20 \text{ Hz}$.

As frequências para possíveis tons de guarda estão indicadas nas figuras 4.18 e 4.19.

Fig. 4.17 : Modem síncrono/assíncrono (V22 e V22bis)



MODEM V22

Este modem pode transmitir em cinco modos diferentes, sendo dois síncronos e três assíncronos, com relação ao ETD.

Com relação à linha telefônica sua transmissão é sempre síncrona.

Os modos assíncronos são chamados de modos "start-stop" e possuem uma concepção diferente daqueles estudados para os modems FSK: um conversor assíncrono/síncrono faz a transformação dos dados assíncronos provenientes do ETD para a forma síncrona a ser efetivamente transmitida.

A tabela abaixo relaciona os 5 modos possíveis:

Modo	Velocidade [bps]	Tolerância	Taxa [baud]	Bits por caracter
i	1200 sinc	$\pm 0,01\%$	600	-
ii	1200 assi	$+1\% -2,5\%$	600	8 a 11
iii	600 sinc	$\pm 0,01\%$	600	-
iv	600 assi	$+1\% -2,5\%$	600	8 a 11
v	1205 assi	1170 a 1204	602,5	8 a 11
v	1223 assi	1190 a 1221	611,5	8 a 11

Estes modos de operação não devem ser confundidos com os modos origem e resposta, que se referem ao procedimento de conexão, ou seja, qual modem origina a chamada, e à ocupação do espectro pelo sinal de transmissão.

Nas transmissões a 1200 bps os dados são agrupados em símbolos com dois bits e nas transmissões a 600 bps cada símbolo possui apenas um bit, conforme você pode ver na figura 4.18.

Os modos "i" e "iii" correspondem a transmissões síncronas.

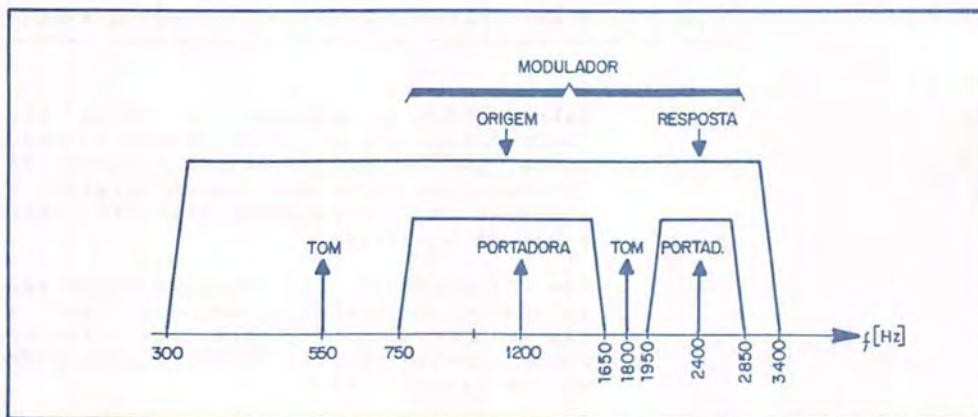
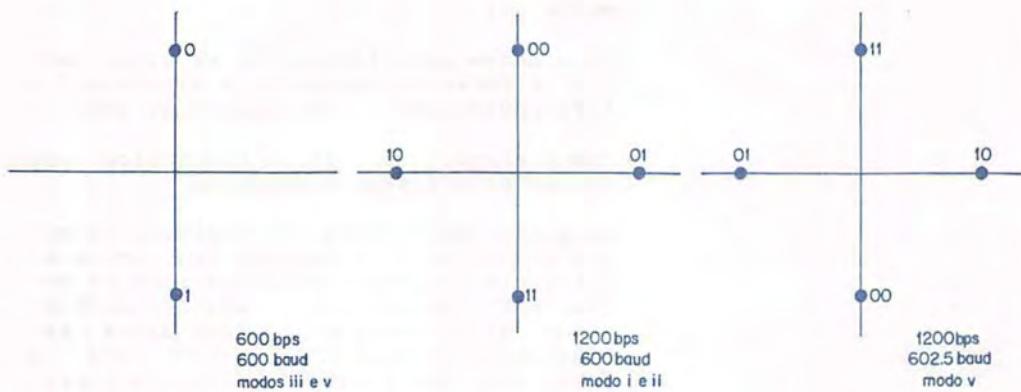


Fig.4.18 : Constelações e espectro V22

Os modos "ii" e "iv" correspondem a transmissões assíncronas onde o ETD deve fornecer os caracteres com elementos de partida e parada ("start" e "stop") na velocidade nominal especificada e respeitando a tolerância permitida. Os caracteres devem possuir de 8 a 11 bits, incluindo eventuais bits de paridade e os elementos de partida e parada : o numero de bits por caracter deve ser selecionado por meio de chaves ou estrapes localizados no modem.

No modo "v" o modem transmite a 602,5 baud e aceita caracteres assíncronos com velocidade entre 1170 e 1204 bps. Opcionalmente o modem pode transmitir a 611,5 baud e aceitar caracteres assíncronos com velocidade entre 1190 e 1221 bps. Esta opção, às vezes chamada de modo "v" expandido, é muito útil quando o ETD transmite eventualmente em velocidades acima de 1204 bps, o que pode ocorrer com alguns tipos de multiplexadores. Quando existe, esta opção é selecionada por meio de uma chave ou estrape localizado no modem.

Outra característica do modo "v" é que o modem pode aceitar dados assíncronos até 300 bps e fazer a distinção automática entre esta velocidade e aquela de 1200 bps.

MODEM V22bis

Este modem pode transmitir em quatro modos diferentes, sendo dois síncronos e dois assíncronos.

De maneira similar ao modem V22, sua transmissão na linha telefônica é sempre síncrona.

A tabela abaixo relaciona os 4 modos possíveis:

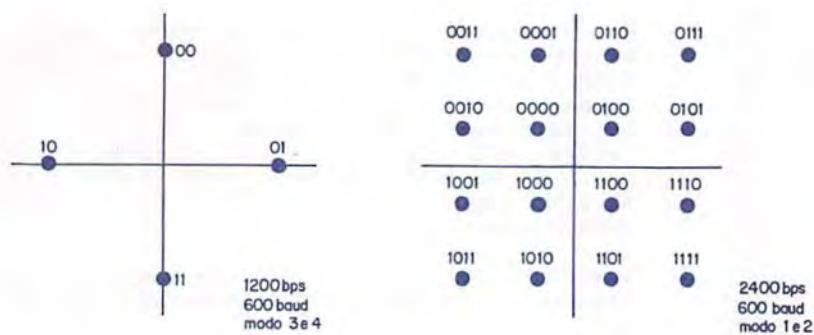
Modo	Velocidade [bps]	Tolerância	Taxa [baud]	Bits por caracter
1	2400 sinc	$\pm 0,01\%$	600	-
2	2400 assi	$\pm 1\% -2,5\%$	600	8 a 11
3	1200 sinc	$\pm 0,01\%$	600	-
4	1200 assi	$\pm 1\% -2,5\%$	600	8 a 11

Nas transmissões a 2400 bps os dados são agrupados em símbolos com 4 bits consecutivos. Os dois primeiros bits (Q1 e Q2) definem a variação diferencial de fase e os dois últimos definem a posição relativa dentro do quadrante :

Q1, Q2, Q3, Q4.

A variação diferencial de fase é feita conforme indicado abaixo:

Q1	Q2	Variação	Quadrante
0	0	90 °	+ 1
0	1	0 °	mesmo
1	1	270 °	+ 3
1	0	180 °	+ 2



bits	X	Y
00	0	1
01	1	0
11	0	-1
10	-1	0

bits	X	Y
0000	-1	1
0001	-1	3
0011	-3	3
0010	-3	1
0100	1	1
0101	3	1
0111	3	3
0110	1	3
1100	1	-1
1101	1	-3
1111	3	-3
1110	3	-1
1000	-1	-1
1001	-3	-1
1011	-3	-3
1010	-1	-3

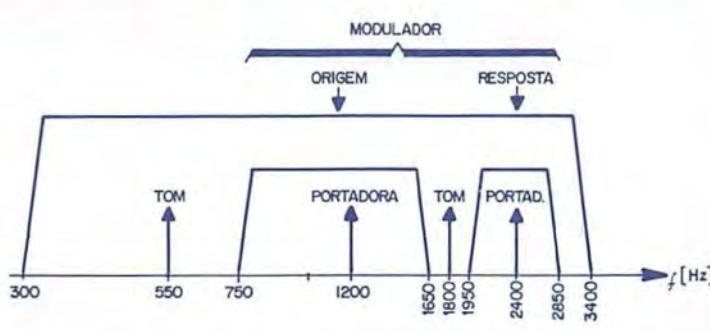


Fig. 4.19 : Constelações e espectro V22bis

CONVERSOR SÍNCRONO-ASSÍNCRONO

Na transmissão, o conversor recebe os dados assíncronos sob forma de caracteres que possuem os elementos de partida e parada, e os converte em dados síncronos, podendo, eventualmente, eliminar ou adicionar bits de parada, a fim de manter a taxa de modulação dentro dos valores especificados. O conversor não pode, entretanto, eliminar mais do que um bit de parada a cada 8 caracteres consecutivos.

Vamos definir "b" como sendo o número de bits por caractere, composto dos bits de partida, parada e dados.

Se o conversor detectar de "b" a "2.b+3" bits, consecutivos, de estado igual a "0", ele deve transmitir "2.b+3" bits de estado "0". Se ele detectar um número maior do que "2.b+3", então deve transmiti-los desta mesma forma, ou seja, como "0".

Caso isto aconteça, ou seja, o ETD transmitir "b" bits de estado igual a "0", diz-se que ele está transmitindo o sinal de "break".

Suponha que o comprimento do caractere selecionado seja de "b" bits. Naturalmente, cada caractere deve possuir um elemento de partida ("0") e outro de parada ("1"), pois são caracteres do tipo "start-stop". Então, no máximo, existirão "b-1" bits consecutivos iguais a "0", que corresponde ao caractere "NUL".

Caso o ETD tenha enviado o sinal de "break", ele deve enviar, pelo menos, "2.b" bits iguais a "1", antes de continuar sua transmissão normal de caracteres, a fim de que o conversor remoto recupere o sincronismo de caractere.

4.1.4 DESEMPENHO DO MODEM ANALÓGICO

O desempenho de um modem analógico é o seu comportamento diante das possíveis degenerações impostas pela linha telefônica ao sinal recebido.

O modem deve tratar o sinal de recepção degenerado de tal forma que consiga recuperar a informação que foi transmitida pelo modem remoto.

Você viu no ítem 2.3 as possíveis degenerações que um sinal transmitido pelo sistema telefônico pode sofrer.

Na verdade, o modem trata essas degenerações através de seus circuitos específicos para isto, conforme apresentado abaixo.

Degeneração	Circuito Regenerador
Atenuação	Pré-amplificador e AGC
Distorção de amplitude	Equalizador de Amplitude
Distorção de fase	Equalizador de Fase
Ruído branco	Filtro RX e Demodulador
Ruído impulsivo	Filtro RX e Demodulador
Oscilação da amplitude	AGC
Oscilação da fase	Demodulador e PLL
Translação da frequência	Demodulador e PLL
Distorção harmônica	Filtro RX, AGC

Qualitativamente, o desempenho de um modem analógico é sua capacidade de operar com sinais de recepção degenerados.

Quantitativamente, tal desempenho pode ser expresso pela taxa de erro obtida quando o modem opera com um sinal de recepção contaminado por uma ou várias degenerações bem conhecidas.

Testes de desempenho podem ser realizados em laboratório, com auxílio de equipamentos adequados, e os mais comuns são aqueles que envolvem as quatro primeiras degenerações citadas na página anterior.

A tabela abaixo apresenta os equipamentos que serão mencionados nos testes que abordarei nos subitens 4.1.4.1 a 4.1.4.5.

Sigla	Equipamento	Provoca	Unidade
A	Atenuador	Atenuação	[dB]
SPF	Simulador de par físico AWG 26	Distorção de amplitude	[km]
SC	Simulador de canal	Distorção de ampl. e fase	[F,C,A]
GR	Gerador de ruído	Relação sinal/ruído	[dB]
MIX	Misturador	Atenuação	[dB]
GMTE	Gerador e medidor de taxa de erro	Gera sequência e mede taxa de erro	[ppm]

O simulador de par físico(SPF) provoca uma distorção de amplitude correspondente a uma linha AWG 26, no comprimento indicado em [km]. Você pode ver a forma desta distorção na figura 2.5.

O simulador de canal provoca três tipos de distorção, em graus que variam de "0" a "6" :

$F = 1$ Distorção de fase equivalente à passagem do sinal por um sistema multiplexador de canais de voz por divisão de frequência (FDM). Num sistema desse tipo o sinal sofre uma translação para a frequência portadora e outra translação para sua posição original na faixa de voz, sendo a distorção provocada principalmente pelos filtros separadores dos canais.

$C = 1$ Distorção de fase equivalente à passagem do sinal por 50 km de linha condicionada com bobinas de 80 mH espaçadas a cada 1700 metros.

$A = 1$ Distorção de amplitude equivalente à passagem do sinal por um sistema FDM tal qual descrito para $F = 1$.

As figuras 4.20 a 4.21 mostram as distorções descritas acima.

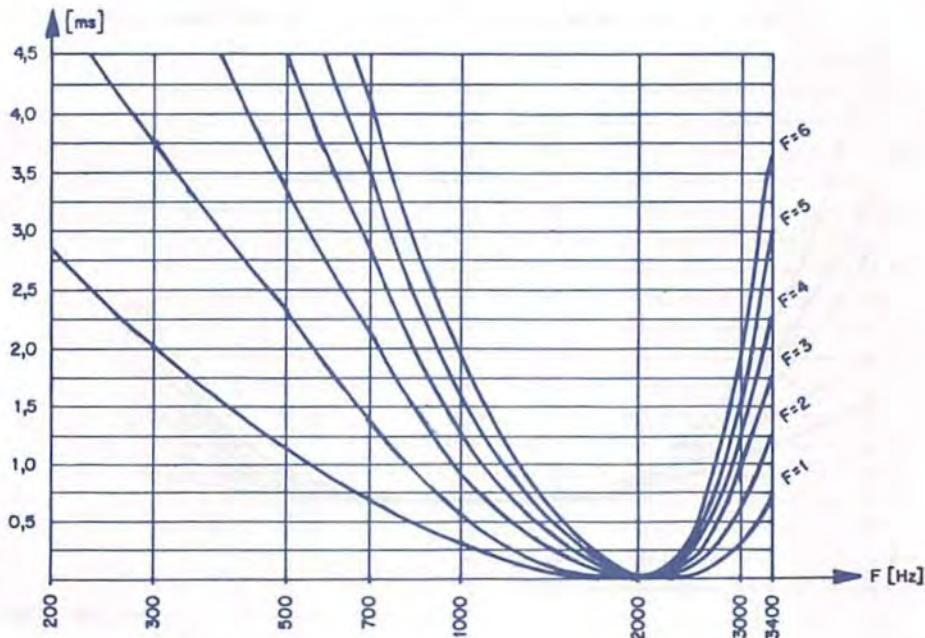


Fig. 4.20 : Simulador de canal - distorção tipo F

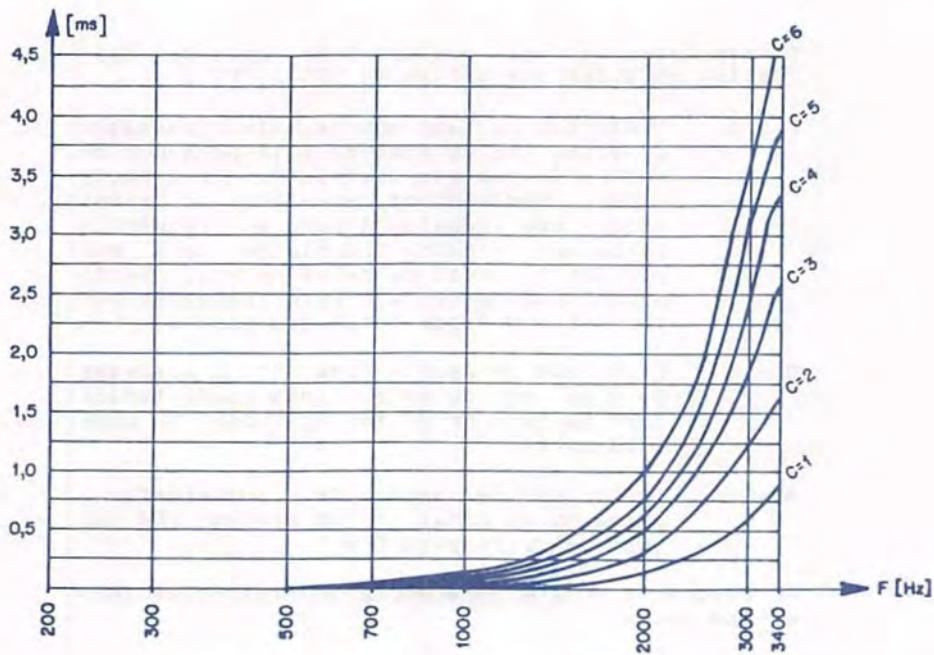


Fig. 4.21 : Simulador de canal - distorção tipo C

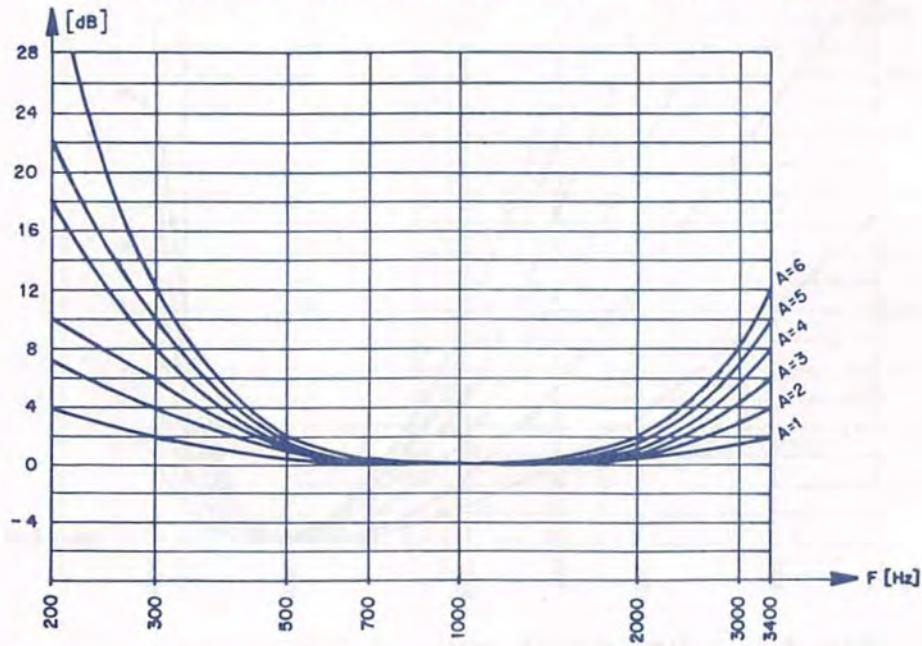


Fig. 4.22 : Simulador de canal - distorção tipo A

O simulador de canal que acabei de descrever é o modelo TLN-1 da Wandel & Goltermann, especificamente. Existem outros modelos, mas este, em particular, é um dos mais utilizados.

O gerador de ruído (GR) injeta ruído branco cuja faixa de frequência vai até 5 KHz, normalmente. Se utilizarmos um GR cuja saída vai até 20 KHz o resultado do desempenho naturalmente será diferente.

O misturador (MIX) tem a finalidade de misturar o ruído ao sinal, ou seja, contaminar o sinal com o ruído branco.

O MIX pode, eventualmente, introduzir uma atenuação no sinal e isto é indicado por "[dB]". Considerarei que esta atenuação existe e que é igual a 3 dB.

GMTE (gerador e medidor de taxa de erro) é o equipamento que gera uma sequência de bits pseudo-aleatória, segundo algum polinômio randomizador, verifica esta mesma sequência na recepção e conta eventuais erros nela contidos.

O polinômio mais utilizado é o de 511 bits (padrão CCITT V54). Eventualmente, alguns GMTE utilizam uma sequência de 2047 bits. Para maiores detalhes veja o apêndice A.4.

A indicação da taxa de erro é dada em "ppm", que significa "parte por milhão", ou seja, quantos bits errados foram recebidos entre um milhão de bits transmitidos.

Alguns testes, especificamente, são mais usuais, tanto para avaliar o comportamento do modem nas linhas telefônicas reais, quanto para uma eventual comparação entre dois modelos diferentes.

A seguir analisarei os seguintes testes :

§	Degenerações		
	Atenuação [dB]	Par físico [km]	Canal [F,C,A]
4.1.4.1	18	-	-
4.1.4.2	10	8	[0,4,0]
4.1.4.3	10	8	[3,0,0]
4.1.4.4	10	8	[4,4,0]
4.1.4.5	3	8	[4,4,4]

A finalidade de cada um desses testes é levantar uma curva de desempenho que indica a taxa de erro para várias relações sinal/ruído.

Para realizar cada teste basta fazer a montagem necessária conforme apresentado na figura correspondente, ajustar a relação sinal/ruído, fazer a medida da taxa de erro e marcar um ponto no gráfico.

Esta operação deve ser repetida até se obter pontos suficientes para traçar a curva num gráfico tipo "semi-log", conforme indicado abaixo.

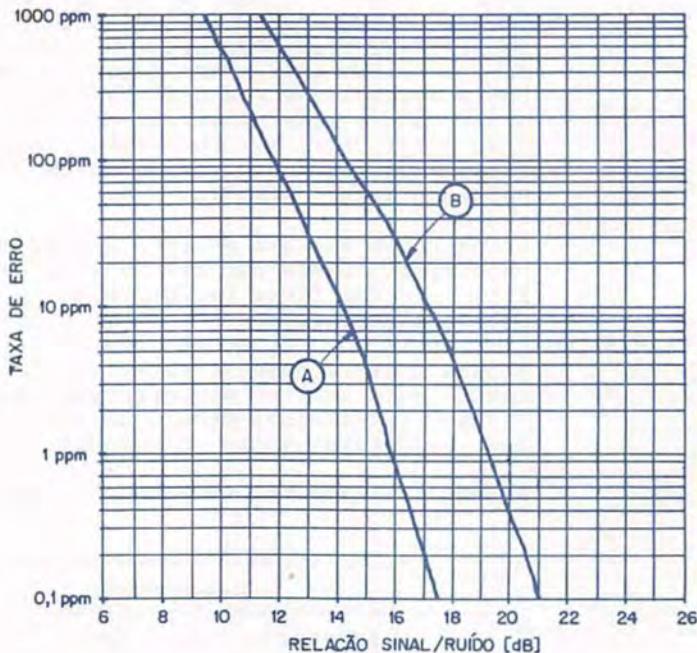


Fig. 4.23 : Gráfico de desempenho

A interpretação do resultado é bem simples : quanto mais afastada do ponto de interseção dos eixos (0,1 ppm com 6dB) a curva estiver, pior será o desempenho correspondente. Na figura 4.23, por exemplo, o desempenho referente à curva "A" é melhor que aquele referente à curva "B" - veja que para uma relação sinal/ruído de 16dB a curva "A" indica apenas 1ppm de taxa de erro enquanto que a curva "B" indica 30ppm.

Levando em consideração os padrões atuais de transmissão de dados pelas linhas telefônicas, podemos classificar a taxa de erro de um circuito da seguinte forma :

0,5	ppm	= ótima
1	ppm	= muito boa
5	ppm	= boa
10	ppm	= razoável
50	ppm	= sofrível
100	ppm	= péssima

A recomendação CCITT V53 estabelece níveis máximos para a taxa de erro em uma transmissão, acima dos quais o circuito deve ser interrompido para manutenção :

1200 bps em LP :	50 ppm máx.
1200 bps em LC :	1000 ppm máx.
300 bps em LP :	50 ppm máx.
300 bps em LC :	100 ppm máx.

No Brasil, para que um modem seja homologado pela Telebrás, ele deve oferecer uma taxa de erro menor que 50 ppm em uma LPCD tipo N com 24 dB de relação sinal/ruído.

No entanto, um modem para ser considerado "bom", deve oferecer uma taxa de erro menor que 1 ppm, nas condições acima.

4.1.4.1 DESEMPENHO COM RUÍDO

Este teste revela a capacidade do modem em recuperar o sinal em presença de ruído. Você pode ver a montagem necessária na figura abaixo.

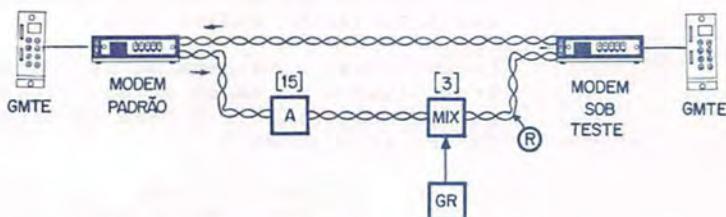


Fig.4.24 : Montagem para teste

O sinal recebido pelo modem sob teste (ponto "R") é transmitido pelo modem padrão a 0dBm, sofre uma atenuação de 15dB no atenuador "A" e vai ao misturador ("MIX") para ser somado ao ruído.

O sinal na saída do MIX (ponto "R") já está contaminado com o ruído gerado pelo GR.

Observe que a atenuação total do sinal é de 18dB.

Normalmente se insere um atenuador depois do GR, pois o nível de ruído a ser obtido no ponto "R", sendo muito baixo, dificulta as medidas.

As vezes esta medida é realizada baseando-se na relação $(S+R)/R$ ao invés de S/R , e este é um ponto que deve estar definido neste teste, apesar de influir muito pouco no resultado final pois o nível de ruído, em geral, é muitas vezes menor que o do sinal.

Os resultados vão variar conforme o tipo de modem sob teste, e a maioria deles vai oferecer uma taxa de erro de 1 ppm para uma relação sinal-ruído dentro das faixas abaixo :

V23 a 1200 bps = 11 a 14 dB
V22 a 1200 bps = 14 a 19 dB
V26 a 2400 bps = 12 a 15 dB
V27 a 4800 bps = 17 a 20 dB
V29 a 9600 bps = 22 a 26 dB

Normalmente os modems possuem mais de uma velocidade (o V26, por exemplo, pode operar a 1200 ou 2400 bps), e, em geral, operando na velocidade mais baixa, eles oferecem menor taxa de erro.

4.1.4.2 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE E FASE ASSIMÉTRICAS

Este teste revela a capacidade do modem em operar com uma distorção de amplitude assimétrica equivalente à de um par físico AWG 26 de 8 km, simultaneamente com uma distorção de fase assimétrica equivalente à de 200 km de linha condicionada (80 mH a cada 1700 m).

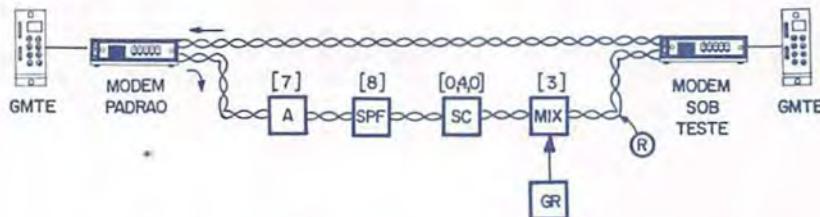


Fig.4.25 : Montagem para teste

O sinal recebido pelo modem sob teste (ponto "R") é transmitido pelo modem padrão a 0 dBm, sofre uma atenuação de 7 dB no atenuador, passa por 8 km de par físico, passa pelo SC ajustado em [0,4,0] e se contamina de ruído no MIX.

Observe que as distorções de amplitude e fase deste teste se ajustam no gabarito da LPCD tipo N. Observe ainda que, mais de 8 km de linha AWG 26 provoca uma distorção de amplitude maior que a permitida para esse gabarito, bem como mais do que 200 km de linha condicionada (passo maior que 4 no SC) provoca uma distorção de fase maior que a permitida.

No Brasil, qualquer modem para ser homologado pelo Dentel e estar apto a operar nas linhas públicas, deve oferecer neste teste, uma taxa de erro menor que 50 ppm quando a relação sinal/ruído for igual a 24 dB.

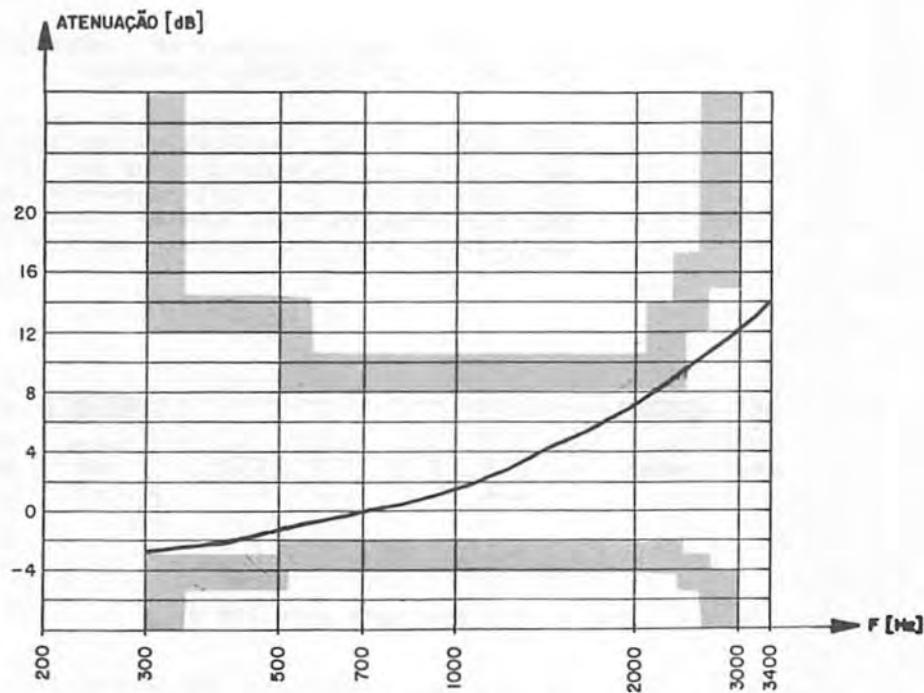


Fig.4.26 : Distorção de amplitude : 8km de linha

4.1.4.3 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE ASSIMÉTRICA E FASE QUASE SIMÉTRICA

Este teste revela a capacidade do modem em operar com uma distorção de amplitude assimétrica equivalente à de um par fí-sico AWG 26 de 8 km, simultaneamente com uma distorção de fase quase simétrica equivalente à de 3 multiplexações FDM.

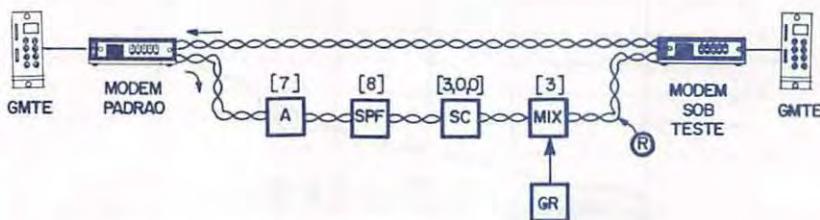


Fig.4.27 : Montagem para teste

Observe que essa distorção de fase também se ajusta no gabarito da LPCD tipo N e que a distorção correspondente a [4,0,0] no SC ultrapassaria o permitido.

Da mesma forma que no teste anterior, os modems deve passar neste para que recebam o certificado de homologação do Dentel.

4.1.4.4 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE ASSIMÉTRICA E FASE SIMÉTRICA

Este teste revela a capacidade do modem em operar com a mesma distorção de amplitude dos dois testes anteriores, simultaneamente com uma distorção de fase simétrica equivalente à de 200 km de linha condicionada e 4 multiplexações FDM.

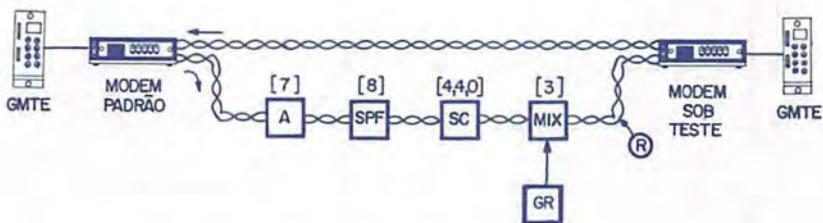


Fig.4.28 : Montagem para teste

Observe que essa distorção de fase também se ajusta no gabarito da LPDCD tipo N e que as distorções correspondentes a [5,5,0] e [6,6,0] no SC ultrapassariam o permitido, conforme você pode ver na figura 4.30.

Da mesma forma que nos testes anteriores, os modems devem passar neste, para receber o certificado de homologação do Dentel.

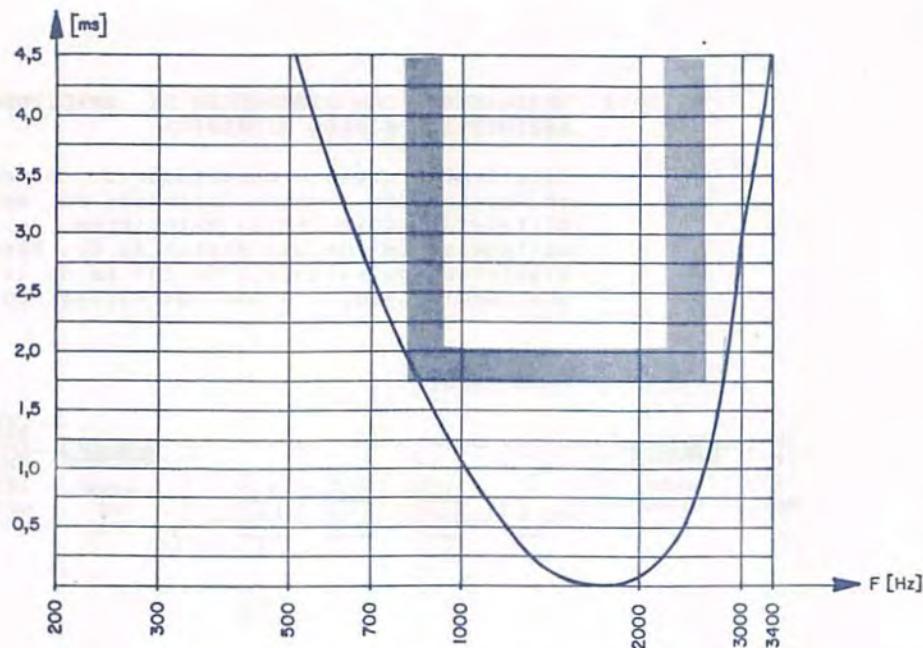


Fig.4.29 : Distorção de fase - SC = [4,4,0]

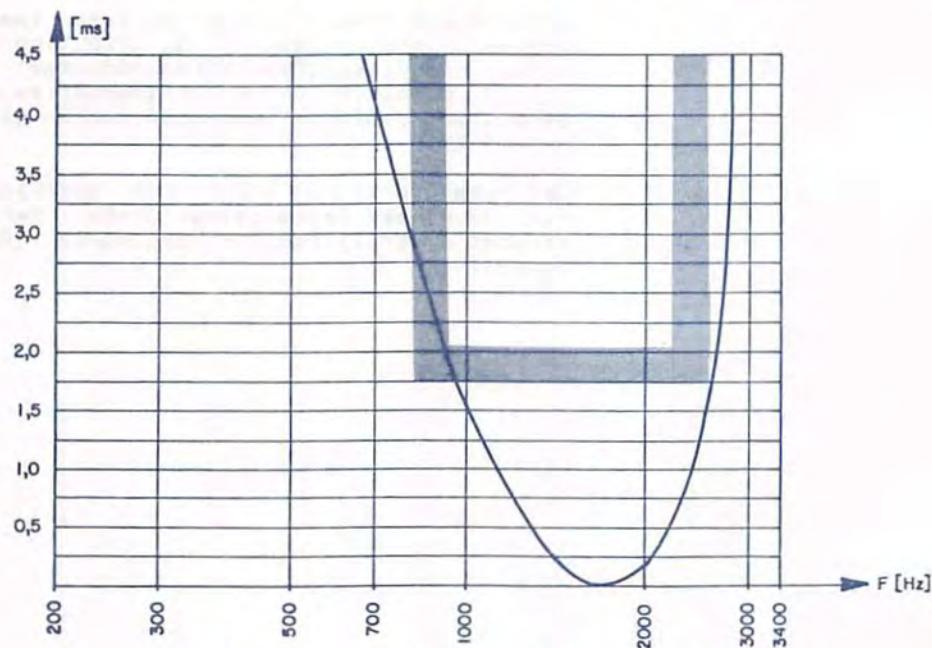


Fig.4.30 : Distorção de fase - SC = [6,6,0]

4.1.4.5 DESEMPENHO COM DISTORÇÕES DE AMPLITUDE E FASE SIMÉTRICAS

Este teste revela a capacidade do modem em operar com uma distorção de amplitude simétrica equivalente à de um par físico AWG 26 de 8 km e 4 multiplexações FDM, simultaneamente com a distorção de fase do teste anterior.

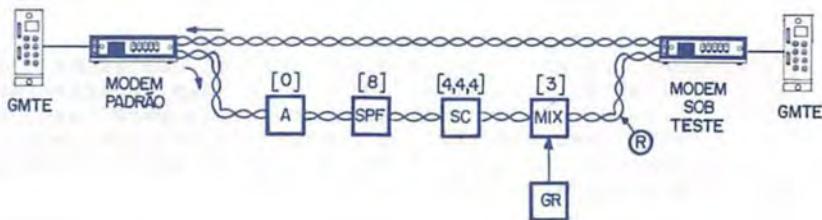


Fig.4.31 : Montagem para teste

Observe que essa distorção de amplitude também se ajusta no gabarito da LPCD tipo N.

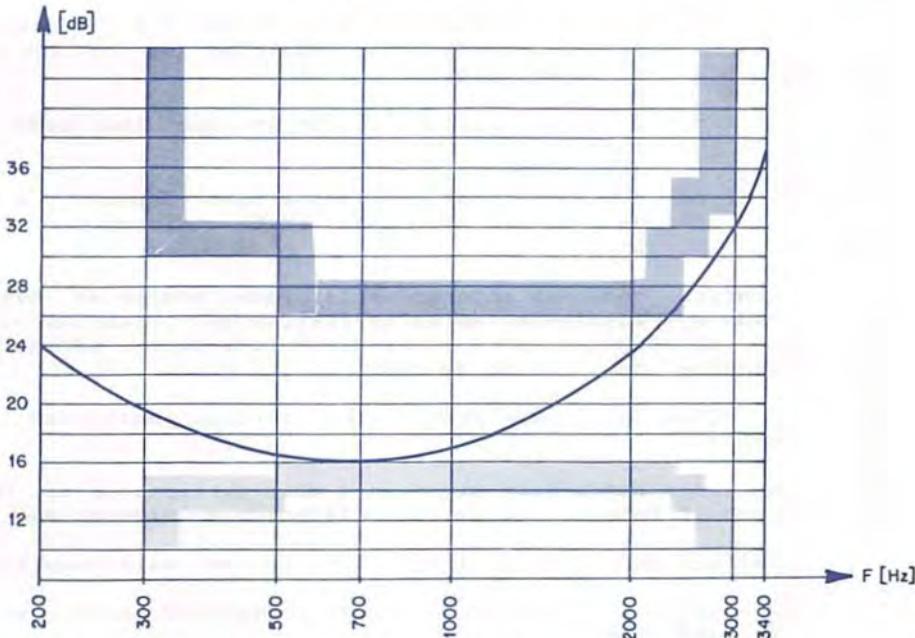


Fig.4.32 : Distorção de amplitude - SC=[4,4,4] e 8km de linha

4.2 MODEMS DIGITAIS

Diz-se que um sinal é banda-base quando seu espectro de frequência não sofre translação, ou seja, ele não está modulando nenhuma portadora.

A sequência de dados a serem transmitidos é um sinal banda-base do tipo NRZ (não retorna a zero).

Este sinal assume dois níveis, na interface RS232, que são "0" e "1".

Se transmitirmos o sinal NRZ por uma linha, o alcance será muito limitado devido às suas características intrínsecas, que não são apropriadas para isso. Por exemplo, seu espectro de frequência vai até zero (DC), e, qualquer bloqueio dessa região de baixas frequências vai prejudicar a detecção.

Os modems digitais codificam o sinal de dados a fim de alcançar os seguintes objetivos :

- a - Concentrar o espectro de transmissão dentro de uma faixa de frequência que possua pouca componente DC.
- b - O sinal codificado deve conter boa informação de sincronismo a fim facilitar sua recuperação no modem receptor.
- c - O sinal codificado deve ter boa imunidade ao ruído.
- d - A complexidade deve ser a menor possível, a fim de aumentar a confiabilidade e diminuir o custo.

Conforme você viu anteriormente, esses modems se destinam a transmissões em pares físicos não pupinizados, e os objetivos citados acima visam conseguir o máximo de alcance com o mínimo de custo.

O modem banda-base pode ser síncrono ou assíncrono (ou ambos).

O modem banda-base síncrono é mais complexo pois deve possuir todos os circuitos referentes ao sincronismo.

Estarei me referindo a esse tipo por ser mais completo.

A figura 4.33 apresenta algumas possíveis codificações em banda-base.

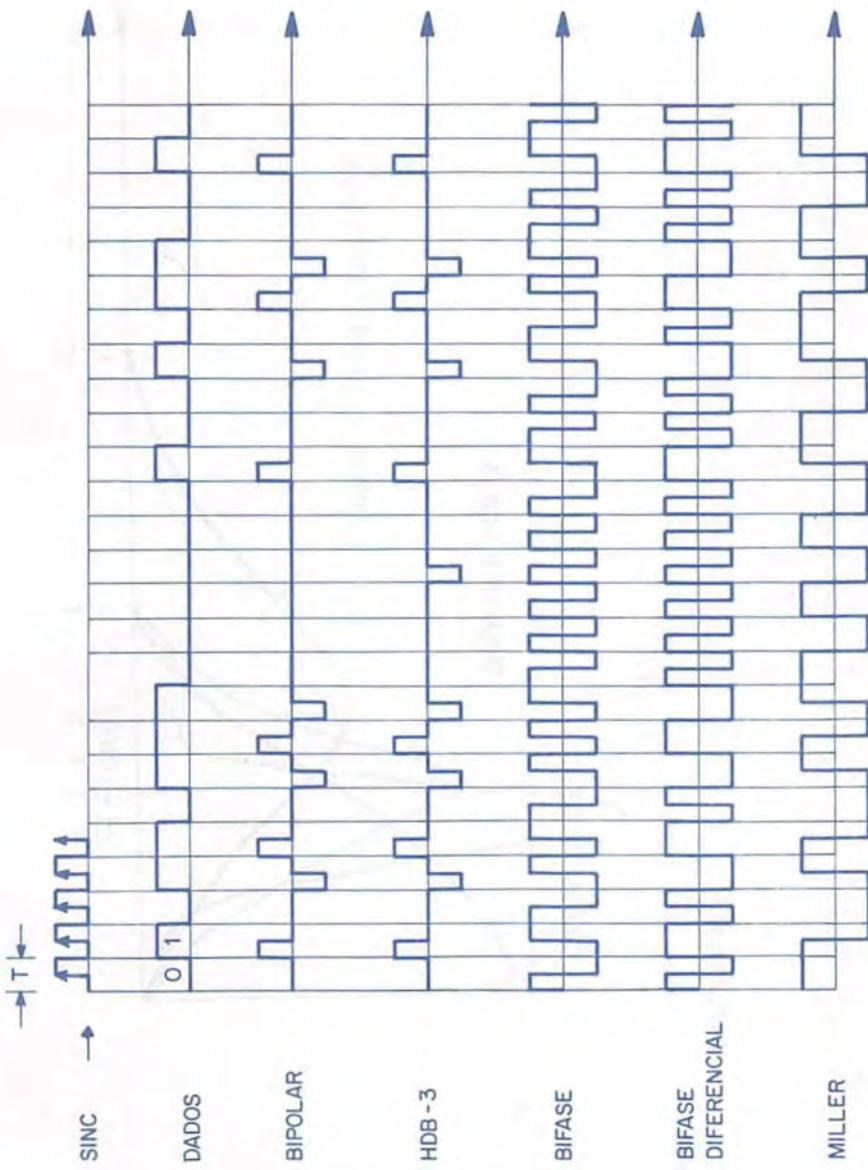
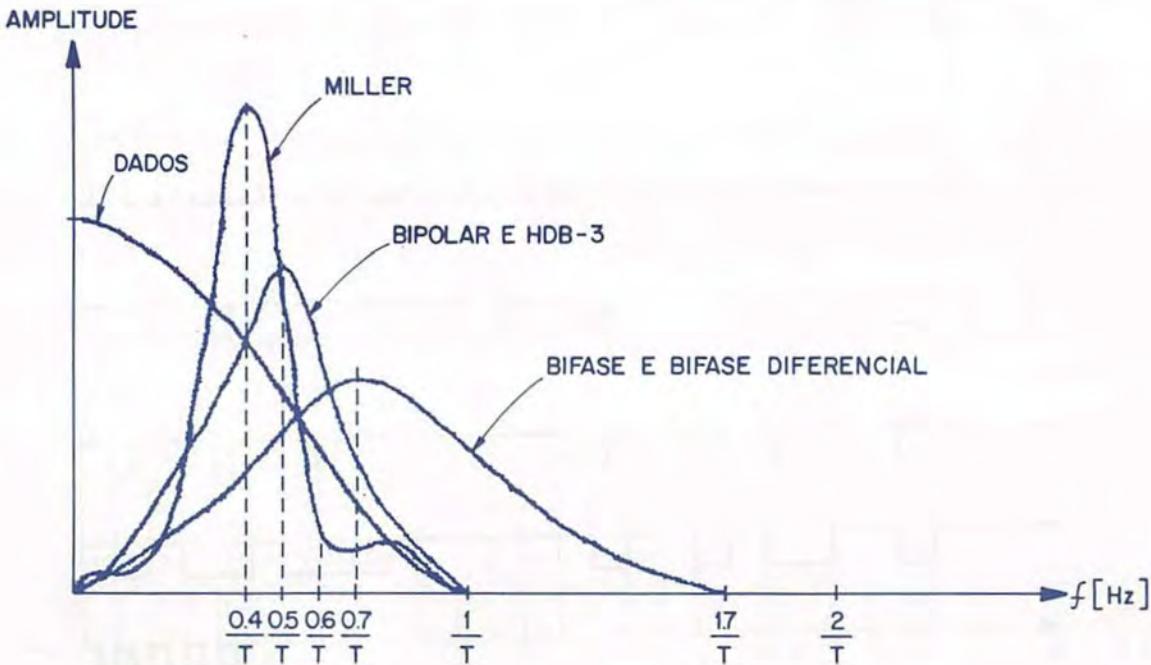


Fig.4.33 : Codificações em banda-base

Fig.4.34 : Espectros dos códigos banda-base



A primeira linha apresenta o sinal de sincronismo, cuja subida coincide com o centro do bit de dados.

O código bipolar, também conhecido como código AMI ("Alternate Mark Inversion"), faz uso de três níveis : pulso positivo, pulso negativo e repouso.

O processo consiste em emitir um pulso (geralmente da largura do pulso de sincronismo) sempre que um bit "1" (marca) for transmitido, de polaridade invertida ao anterior.

O bit "0" não provoca nenhuma alteração no sinal de linha e esse fato pode causar problemas na recuperação do sincronismo por parte do modem receptor.

Esse problema pode ser minimizado se for utilizado um randomizador, no caso dos modems síncronos.

Outra forma de se evitar longas sequências de bits "0" é inserir pulsos sempre que houver uma certa quantidade de bits "0" seguidos. Chamamos isso de violação do código.

O código HDB-3 ("High Density Bipolar") é um dos mais difundidos códigos bipolares com violação.

Neste caso a violação consiste em emitir um pulso de mesma polaridade que o anterior, quando surgir o 4º bit "0" seguido.

A violação garante uma boa informação de sincronismo ao modem receptor.

Como pode ser visto na figura 4.34, o espectro resultante do código bipolar vai até a $1/T$, satisfazendo os objetivos iniciais citados mas, por fazer uso de três níveis distintos, sua imunidade a ruído fica um pouco prejudicada.

O código bifase, também conhecido como código Manchester, faz uso do deslocamento da fase do sinal de sincronismo para carregar informação.

O processo consiste em transmitir o sinal de sincronismo, com duas fases possíveis : "0" ou "180" graus, mudando na transição entre os bits diferentes, ou seja : o bit "0" corresponde a "0" graus e o bit "1" corresponde a "180" graus. Dessa forma, o bit "1" corresponde a uma subida no sinal de linha e o bit "0" a uma descida.

A desvantagem desse código é uma possível ambiguidade de fase na recepção.

O código bifase diferencial elimina a desvantagem da ambiguidade pois a mudança de fase é diferencial, ou seja, a fase é deslocada de 180 graus com relação à fase anterior, se o bit for "1" e mantida se o bit for "0". Nesse caso a transição de fase é feita no centro do bit. Esse código apresenta, portanto, um sinal que sempre possui transição entre bits e no centro do bit se este for "0".

Os códigos bifase são mais imunes a ruído que os bipolares, apresentando o inconveniente de ocuparem uma faixa de frequência maior.

O código Miller também faz uso de deslocamentos de fase, no entanto a frequência básica transmitida é a metade daquela utilizada na codificação bifase.

O processo consiste em manter a fase do sinal transmitido, cuja frequência é a metade daquela do sincronismo, em "0" graus quando o bit for "0" de tal forma que suas transições ocorram entre os bits. Quando o bit "1" for transmitido a fase passa a ser de "90" graus fazendo com que as transições ocorram no centro dos bits "1".

Em outras palavras, a codificação Miller consiste em fazer uma transição no centro do bit quando ele for "1" e fazer uma transição entre dois bits consecutivos quando ambos forem "0".

Observando a figura 4.33 você pode ver que o código Miller pode ser gerado do código bifase simplesmente fazendo-o passar por um circuito divisor por "2".

O código Miller possui boa imunidade a ruído e apresenta características superiores aos códigos bifase (ocupa uma faixa de frequência menor) e aos códigos bipolares (utiliza somente dois níveis).

4.2.1 DESEMPENHO DO MODEM DIGITAL

Como este modem é concebido para operar somente em linhas físicas (par de fios), o seu desempenho pode ser medido em termos do alcance conseguido para cada velocidade de operação.

Define-se alcance de um modem banda-base como sendo a distância máxima em que ele consegue operar, em condições bem definidas, mantendo a taxa de erro abaixo de um valor pré-determinado.

Considerarei as seguintes condições, para efeito de medida do alcance de um modem banda-base :

Tipo de linha.....	0,4mm (AWG26)
Círcuito.....	ponto-a-ponto
Configuração.....	4 fios
Portadora.....	constante
Impedância de entrada.....	600 ohms
Impedância de saída.....	600 ohms
Nível de transmissão.....	0 dBm

A taxa de erro normalmente é especificada em "ppm", que significa "parte por milhão".

Por exemplo, se dizemos que a taxa de erro é 50 ppm significa que ocorrem 50 bits errados a cada milhão de bits transmitidos.

Poderíamos expressar a taxa de erro em porcentagem mas isto não é usual :

$$\begin{aligned}1000 \text{ [ppm]} &= 1 \text{ [%]} \\50 \text{ [ppm]} &= 0,005 \text{ [%]} \\1 \text{ [ppm]} &= 0,0001 \text{ [%]}\end{aligned}$$

No Brasil a norma Telebrás relativa a modems banda base (ref.[6]), estabelece que para uma taxa de erro igual a 50ppm, operando em fios AWG 26, os modems devem conseguir, no mínimo, os seguintes alcances:

Velocidade	Alcance [km]
600	30
1200	22
2400	16
4800	11
9600	8
19200	5,4

[Telebrás] [50ppm] [AWG 26]

Você viu em 2.3.1.1 que, dos fios mais utilizados (AWG 22, 24, 26), o AWG 26 é o que introduz a distorção de amplitude mais severa. Por isto, se um modem tem um determinado alcance nesta bitola de fio, certamente seu alcance será maior nas demais bitolas.

O alcance também depende da taxa de erro permitida. Se um modem alcança 8 km com uma taxa de erro de 50ppm, certamente seu alcance será maior se for permitida uma taxa de erro igual a 500ppm !

Pelos motivos expostos, é de suma importância saber as condições (principalmente a bitola do fio) e a taxa de erro permitida, quando se fala em alcance de modem banda-base.

Este fato se torna ainda mais crítico quando se quer comparar dois modems banda-base pelos seus alcances : para dizer que o banda-base "A" que alcança 28 km tem um desempenho pior que outro banda-base "B" que alcança 38 km é preciso se ter certeza que as condições são as mesmas para ambos.

Por exemplo, no manual do modem RHEDE S192 os alcances especificados são aqueles garantidos pelo fabricante para uma linha AWG 26 e uma taxa de erro igual ou menor que 1ppm. Para compararmos com o mínimo exigido pela Telebrás devemos saber seu alcance com uma taxa de erro igual a 50ppm.

A figura 4.35 apresenta um gráfico onde se pode ver claramente o alcance do RHEDE S192 para taxas de erro iguais a 1ppm e 50ppm, podendo comparar este com aquele exigido pela Telebrás.

Os alcances de um modem banda-base podem ser facilmente medidos em laboratório utilizando-se simuladores de par físico (SPF) e medidores de taxa de erro (GMTE), conforme ilustrado na figura 4.35.

Normalmente os simuladores de par físico são constituídos de elementos iguais ao ilustrado na figura 2.4. É desejável que a tolerância dos capacitores e resistores seja a menor possível, de preferência igual a 1%.

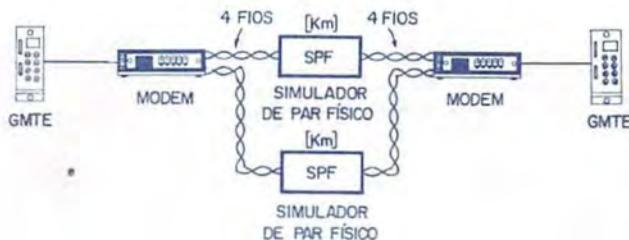
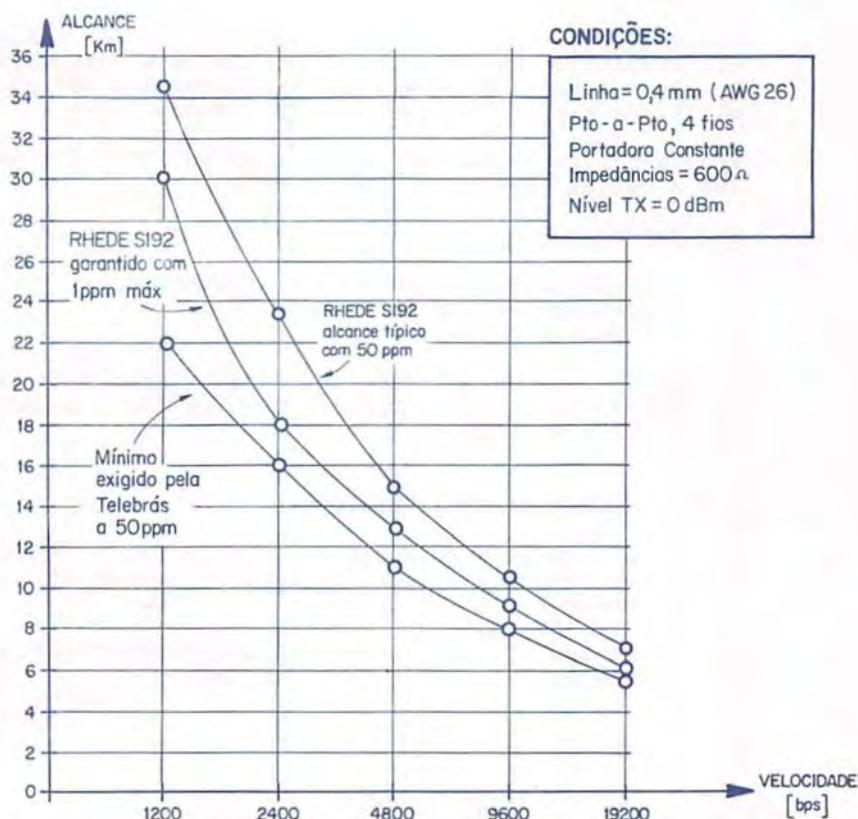


Fig.4.35 : Alcance de modem banda-base

4.3 INTERFACE RS232-C

A Associação das Indústrias Eletrônicas - EIA ("Electronic Industries Association"), dos Estados Unidos, publicou um conjunto de normas sobre a interface serial a ser utilizada para interconectar ETD e modem.

Essa série de normas recebeu o nome de RS232-C e às vezes é referenciada como EIA-RS232-C.

Ela define :

- as características elétricas dos sinais
- características mecânicas
- a função de cada sinal

No Brasil os modems devem atender ao Padrão Telebrás 225-540-730 de 1986, baseado nas normas EIA-RS232-C, CCITT V28 e CCITT V24.

4.3.1 CARACTERÍSTICAS ELETRICAS

A cada pino do conector de interface corresponde um circuito e cada circuito é composto de um lado gerador e outro carga.

As características elétricas desses circuitos devem satisfazer as relações abaixo :

$$\begin{aligned} |V_{ol}| &< 25V \\ 3Kohm &< R_L < 7Kohm \\ C_L &< 2500pF \\ \frac{dV}{dt} &< 30V/\mu s \\ C_o &= \text{não especificado} \\ R_o &= \text{não especificado} \end{aligned}$$

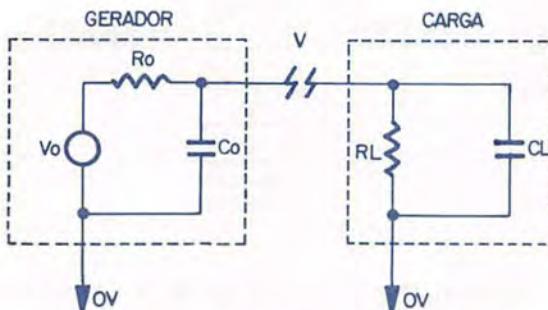


Fig.4.36 : Circuito de interface

Em palavras :

- A tensão em aberto do gerador (com a carga desconectada) não deve exceder 25V positivos ou negativos.
- A resistência da carga deve estar na faixa de 3 a 7 Kohm.
- A capacidade da carga não deve exceder 2500 pF.
- A variação da voltagem na interface não deve ser mais rápida que 30V por us.
- A capacidade do gerador não é especificada mas deve ser tal que a condição anterior seja satisfeita.
- A resistência do gerador não é especificada. Em geral se utiliza de 50 a 300 ohms.

Essas mesmas características são exigidas pela recomendação CCITT V28.

Os níveis especificados para os estados dos sinais são :

SINAL DE DADOS :

"1" = MARCA = -3 a -25V
"0" = ESPAÇO = +3 a +25V
transição = menor que 1ms e 4% do bit

SINAL DE CONTROLE :

"0" = DESATIVADO = -3 a -25V = OFF
"1" = ATIVADO = +3 a +25V = ON
transição = menor que 1ms

Os sinais de sincronismo devem ter as mesmas características especificadas para o sinal de dados.

Nesse caso a CCITT apresenta uma pequena diferença quanto ao tempo de transição do sinal de dados ou sincronismo : ela recomenda que tenha uma transição menor que 1ms e 3% do bit.

4.3.2 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Nem a EIA-RS232-C nem a CCITT V28 especificam detalhadamente as características mecânicas da interface.

O conector utilizado e aceito por ambas é aquele definido pela norma ISO-2110-1980 publicada pela Organização Internacional de Normalizações ("International Standards Organization").

O Padrão Telebrás 225-540-730 de 1986 também indica o conector citado na norma ISO, que você pode ver na figura abaixo.

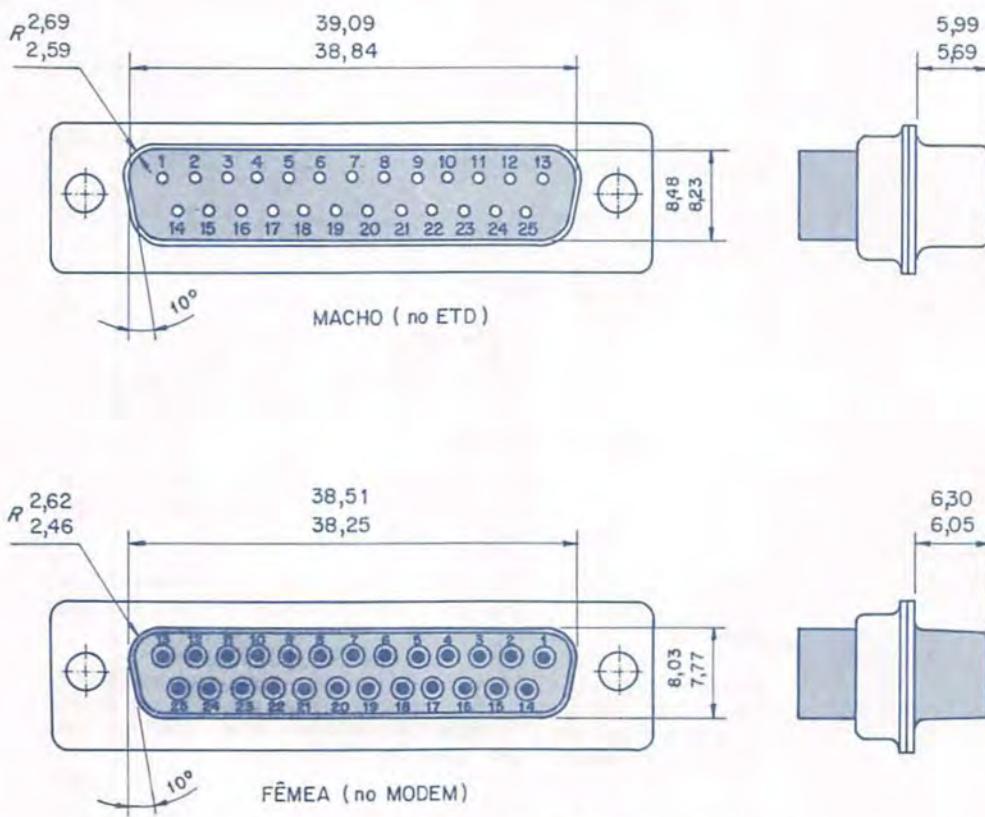


Fig. 4.37 : Conector RS232-C

4.3.3 DEFINIÇÃO DOS SINAIS

A cada pino do conector de interface corresponde um circuito cuja denominação seguida é aquela da recomendação CCITT V24, conforme você pode ver na tabela abaixo.

Dividirei esses circuitos em 4 categorias :

- circuitos de dados
- circuitos de sincronismo
- circuitos de controle
- circuitos de teste

Todos os sinais tem seus níveis referenciados ao pino 7, que corresponde a 0 volt.

Pino	V24	Nome	Descrição	Categ/Gerador
2	103	DTX	Dados a transmitir	Dados /ETD
3	104	DRX	Dados recebidos	Dados /Modem
15	114	TCK	Sincronismo TX	Sincr./Modem
17	115	RCK	Sincronismo RX	Sincr./Modem
24	113	TCKE	Sincronismo TX externo	Sincr./ETD
4	105	RTS	Solicitação p/ TX	Contr./ETD
5	106	CTS	Pronto para TX	Contr./Modem
6	107	DSR	Modem operacional	Contr./Modem
8	109	DCD	Recebendo portadora	Contr./Modem
11	126	MOD	Seleção do modo	Contr./ETD
20	108	DTR	Terminal operacional	Contr./ETD
22	125	RING	Linha chamando	Contr./Modem
23	111	VEL	Seleção da velocidade	Contr./ETD
21	140	LDR	Enlace digital remoto	Teste /ETD
18	141	LAL	Enlace analógico local	Teste /ETD
25	142	TST	Modem em teste	Teste /Modem
7	102	OV	Referência de tensão	- / -

4.3.3.1 CIRCUITOS DE DADOS

CT103 - DTX - pino 2

Dados a transmitir.

Dados binários seriais gerados pelo ETD para serem transmitidos.

O DTE deve manter DTX = "1" quando não houver dados a serem transmitidos.

Os dados somente serão transmitidos se :

DTR = "1"

DSR = "1"

RTS = "1"

* CTS = "1"

CT104 - DRX - pino 3

Dados recebidos.

Dados binários seriais recebidos pelo modem.

O modem deve manter DRX = "1" quando DCD = "0".

4.3.3.2 CIRCUITOS DE SINCRONISMO

CT114 - TCK - pino 15

Sincronismo de transmissão.

Gerado pelo modem no caso das transmissões síncronas.

O ETD deve fornecer os dados DTX de tal forma que as transições negativas de TCK coincidam com o centro de cada bit.

Este sinal normalmente sempre está presente na interface.

CT115 - RCK - pino 17

Sincronismo de recepção

Gerado pelo modem no caso das transmissões síncronas, este sinal deve ter suas transições negativas coincidentes com o centro de cada bit de dado recebido (DRX).

CT113 - TCKE - pino 24

Sincronismo de transmissão externo.

Gerado pelo ETD no caso das transmissões síncronas.

As transições negativas devem coincidir com o centro de cada bit dos dados de transmissão (DTX).

Este sinal normalmente está sempre presente na interface.

4.3.3.3 CIRCUITOS DE CONTROLE

CT105 - RTS - pino 4

Em operação duplex, se RTS = "1" o modem transmite dados e se RTS = "0" o modem não transmite dados.

Em operação semi-duplex, quando o RTS passa de "0" para "1" o modem deve passar ao modo TX. Ao completar a operação o modem deve responder com CTS = "1" indicando ao ETD que pode transmitir os dados; quando RTS passa de "1" para "0" o modem deve completar a transmissão do último bit de dado até então transferido pelo ETD e passar ao modo RX. Ao completar a operação o modem deve responder com CTS = "0".

Notas :

- 1) Quando RTS cai para "0" não deve retornar para "1" enquanto CTS = "1".
- 2) É permitido ao ETD fazer RTS = "1" independente dos demais sinais da interface.
- 3) Quando RTS⁴ = "1" o modem deve estar com sua portadora na linha.

CT106 - CTS - pino 5

Pronto para transmitir.

Gerado pelo modem, indica que este está pronto para transmitir dados, em resposta ao RTS = "1" do ETD.

A condição CTS = "1" e DSR = "1" é uma indicação de que o modem está transmitindo os dados apresentados na interface.

A condição CTS = "0" é uma condição para o ETD não apresentar dados na interface pois não serão transmitidos.

CT107 - DSR - pino 6

Modem em condição operacional.

Gerado pelo modem, indica que este está operacional.

A condição DSR = "1" indica simultaneamente que :

- O modem está conectado à linha telefônica.
- O modem não está em teste (ativado local ou remotamente).
- O modem já completou qualquer eventual protocolo de linha, como por exemplo : Procedimento de resposta automática (que inclui a geração do tom de resposta) e procedimento de discagem automática.

CT108 - DTR - pino 20

Terminal em condição operacional.

Gerado pelo ETD para indicar que este está operacional e solicitar a conexão modem-linha.

A condição DTR = "1" solicita ao modem sua conexão à linha.

Quando o modem estiver no modo resposta automática, o ETD pode estar com DTR = "1", aguardando a chamada.

A condição DTR = "0" solicita a desconexão modem-linha.
Em linhas comutadas, se DTR cair para "0" não deve voltar para "1" enquanto DSR também não cair para "0".

CT109 - DCD - pino 8

Portadora presente .

A condição DCD = "1" indica que o modem está recebendo portadora acima de um limiar pré-determinado.

A condição DCD = "0" indica que o modem não está recebendo portadora ou seu nível está abaixo do limiar pré-determinado.

A condição DCD = "0" faz com que os dados de recepção fiquem presos em marca (DRX = "1").

CT126 - MOD - pino 11

Gerado pelo ETD, este circuito permite selecionar o modo de operação do modem, quando aplicável :

MOD = "0" : modo origem
MOD = "1" : modo resposta

CT125 - RING - pino 22

Gerado pelo modem, este circuito indica a presença de sinal de chamada na linha quando RING="1".

CT111 - VEL - pino 23

Gerado pelo ETD, este circuito permite selecionar a velocidade de operação do modem, quando aplicável :

VEL = "0" : velocidade mais baixa
VEL = "1" : velocidade mais alta

4.3.3.4 CIRCUITOS DE TESTE

CT140 - LDR - pino 21

Gerado pelo ETD, este sinal solicita ao modem local que envie um pedido de enlace digital ao modem remoto quando LDR = "1".

Naturalmente este comando só será atendido nos modems que possuirem a facilidade de enlace digital remoto e quando o tipo de conexão permitir. Por exemplo, um modem V26 operando semi-duplex a dois fios não consegue realizar esse teste.

CT141 - LAL - pino 18

Gerado pelo ETD, este sinal solicita ao modem local que execute um enlace analógico quando LAL = "1".

CT142 - TST - pino 25

Gerado pelo modem, este sinal indica ao ETD se aquele está em alguma condição de teste :

TST = "1" : modem em teste
TST = "0" : modem não está em teste

4.3.4 PROTOCOLO DE INTERFACE

Apresentei, no item anterior, os sinais existentes em uma interface RS-232, e, agora, abordarei o protocolo a ser cumprido, entre ETD e modem, a fim de efetivar uma comunicação.

A figura 4.38 ilustra a descrição que será feita a seguir.

Vamos descrever o protocolo básico de controle, ou seja, aquele necessário em qualquer tipo de linha. No caso da linha comutada existem outras particularidades, principalmente quando se trata de operação com discagem ou resposta automáticas.

Inicialmente deve-se ter DTR = "1" e DSR = "1", condição esta que indica a operacionalidade do ETD e do modem.

O ciclo se inicia quando o ETD (TX) levanta o RTS, solicitando uma transmissão. Nesse instante o modem coloca a portadora na linha (no caso de portadora chaveada).

Se o modem estiver operando com portadora constante esta já estará sendo transmitida pela linha.

Após um tempo chamado de "retardo RTS-CTS" o modem levanta o CTS indicando ao ETD que pode iniciar a transmissão de seus dados.

Durante o retardo RTS-CTS o modem transmite o que se chama de "sequência de treinamento". Esta sequência permite que o modem remoto ajuste seus circuitos antes que chequem os dados do ETD. Nos modems mais simples, como aqueles tipo FSK, esta sequência é simplesmente a frequência de marca.

Nos modems mais complexos, como os tipo V27 e V29, esta sequência é composta de vários segmentos diferentes, onde cada um tem uma função específica.

Com CTS = "1" o ETD transmite seus dados (DTX) e ao terminar ele abaixa o RTS.

No modem remoto, que está incumbido de receber (RX), o ciclo se inicia com a chegada da sequência de treinamento (às vezes se diz simplesmente chegada da portadora).

Ao detectar sinal na linha (portadora), o modem remoto levanta o sinal DCD para informar ao ETD remoto que este vai começar a receber dados. Existe sempre um pequeno retardo entre a presença de sinal na linha e a ativação do sinal DCD (indicado como t1 na figura).

Logo que chega a portadora (provocando DCD = "1"), o modem remoto inicia seu ajuste, que basicamente é composto das seguintes tarefas :

Ajuste do AGC : Posicionar o ganho do circuito de AGC no valor adequado ao sinal recebido.

Ajuste do PLL : Posicionar o rastreamento do circuito PLL em cima do sincronismo extraído do sinal recebido.

Ajuste do equalizador : calcular os coeficientes iniciais do equalizador adaptativo.

Ajuste do desrandomizador : inicializar o circuito do desrandomizador.

Efetivamente, após esse tempo (aproximadamente igual ao retardo RTS-CTS), o ETD remoto começa a receber os dados.

Finalmente, quando o sinal é retirado da linha o modem remoto derruba seu DCD, após um pequeno retardo, indicado na figura como "t2".

A parte inferior da figura mostra o que acontece em uma transmissão semi-duplex : os modems "1" e "2" transmitem um a cada vez, alternadamente.

Numa operação semi-duplex é desejável que o retardo RTS-CTS seja o menor possível nos dois modems, pois este tempo não é utilizado para transferir dados.

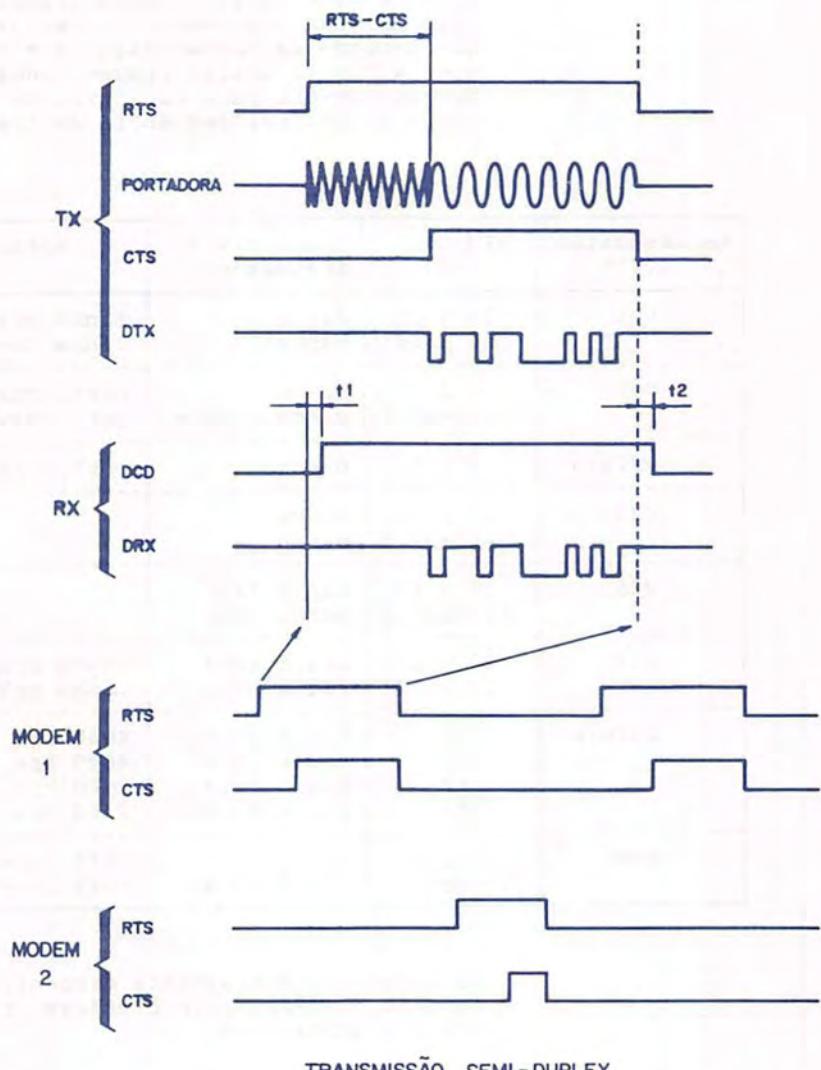


Fig.4.38 : Protocolo da interface RS232-C

4.3.4.1 RETARDO RTS-CTS

Durante este tempo o modem transmite uma sequência de treinamento, como já disse, que depende da recomendação que ele segue. A tabela abaixo resume todos os retardos RTS-CTS para cada tipo de modem, com a respectiva sequência de treinamento.

Recomendação CCITT	RTS-CTS [ms]	sequência de treinamento	notas
V21	35 ± 15 700 ± 300	marca marca	linha privativa linha comutada
V22	< 2 $242,5 \pm 32,5$	marca marca random.	port.constante port.chaveada
V22bis	$< 3,5$	marca	port.constante
V23	30 ± 10 $237,5 \pm 37,5$	marca marca	
V26	35 ± 10 $82,5 \pm 17,5$	marca (11) marca (11)	
V27	20 ± 3 50 ± 20	fig.4.39.a fig.4.39.a	linha privativa linha privativa
V27bis	50 708 67 944	fig.4.39.b fig.4.39.c fig.4.39.d fig.4.39.e	4800 bps 4800 bps 2400 bps 2400 bps
V29	15 ± 5 $253,5 \pm 0,5$	fig.4.39.g	port.constante port.chav. 4F

Os modems comercialmente disponíveis no mercado, normalmente oferecem retardos RTS-CTS adicionais.

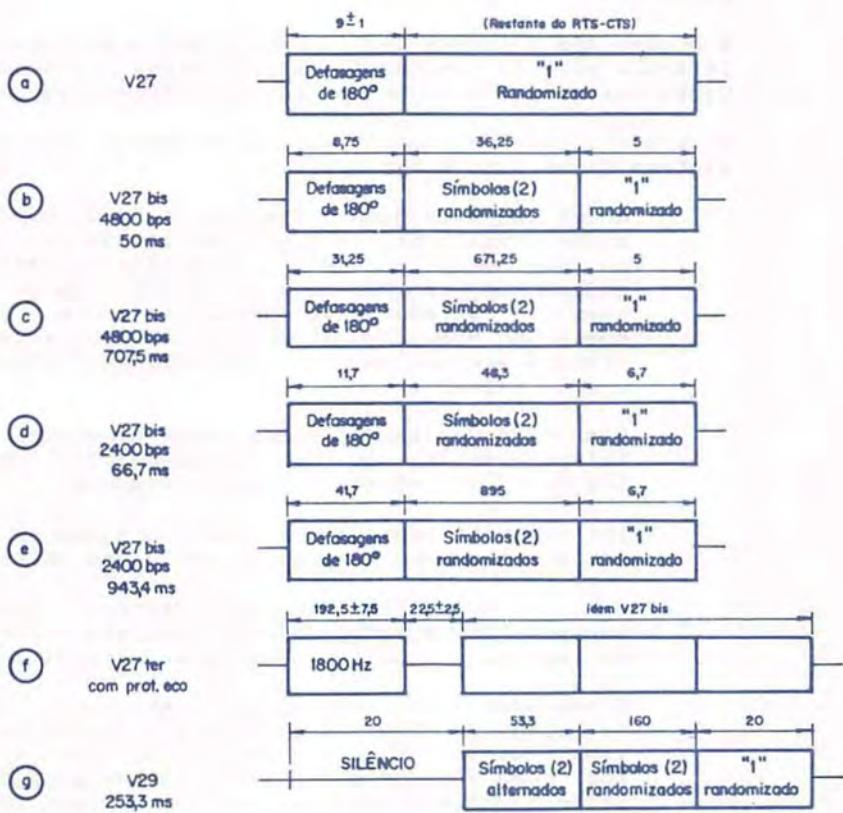


Fig.4.39 : Sequências de treinamento

4.4 RESPOSTA AUTOMÁTICA

Alguns modems possuem a facilidade de resposta automática, ou seja, eles atendem automaticamente a uma chamada telefônica sem a intervenção de operador. Naturalmente esta facilidade somente será encontrada em modems que operem em linhas comutadas, portanto, modems banda-base não possuem tal facilidade.

É o caso dos sistemas cujo acesso é feito pela rede telefônica pública comutada, como por exemplo a RENPAC e o Video-texto, que possuem modems com resposta automática.

O procedimento de conexão para quem deseja acessar um sistema desse tipo é bem simples :

Antes de mais nada o operador deve dispor de um modem compatível com aquele utilizado pelo sistema que deseja acessar. O Video-texto opera com modems do tipo V23 no modo 75/1200 bps e nesse caso o operador deve possuir um modem V23 que opere no modo 1200/75 bps. A Renpac atualmente oferece acessos em V21 (300/300), V22 (1200/1200) e V23 (1200/75).

O modem deve dispor de uma chave no painel frontal que permita escolher a ocupação da linha entre "voz" (telefone) ou "dados" (modem).

Inicialmente posiciona a chave do modem em "voz" e disca o número telefônico de acesso ao sistema.

O modem do sistema, no outro extremo, que está equipado com a facilidade de resposta automática, ao receber o sinal de chamada da central, atende.

O operador ouve, logo após o atendimento, um sinal agudo de 2100 Hz, emitido pelo modem do sistema, que é o tom de resposta automática. Este tom, como você já sabe, serve também para desabilitar eventuais supressores de eco instalados no trecho de linha utilizado.

O tom de resposta dura cerca de 3 segundos, mas antes disso o operador deve passar a chave do seu modem para "dados". A partir deste instante a comunicação de dados pode ser iniciada.

Agora que você está com esta visão do procedimento, gostaria de analisar com mais detalhes como ele é processado pelo modem que atende à chamada.

Ao modem que atende à chamada chamarei "modem resposta" e ao modem do operador que originou a chamada chamarei "modem origem".

4.4.1 MODEM RESPOSTA

O modem resposta deve estar corretamente posicionado para atender a uma eventual chamada. A chamada somente será atendida se o ETD fornecer DTR = "1". Normalmente o ETD já deixa posicionado seu sinal DTR = "1".

No Brasil, a norma que aborda este assunto é aquela citada na bibliografia como [7].

A figura abaixo ilustra o sinal de linha durante o processo da resposta automática, bem como o estado dos sinais de interface nos modems origem e resposta.

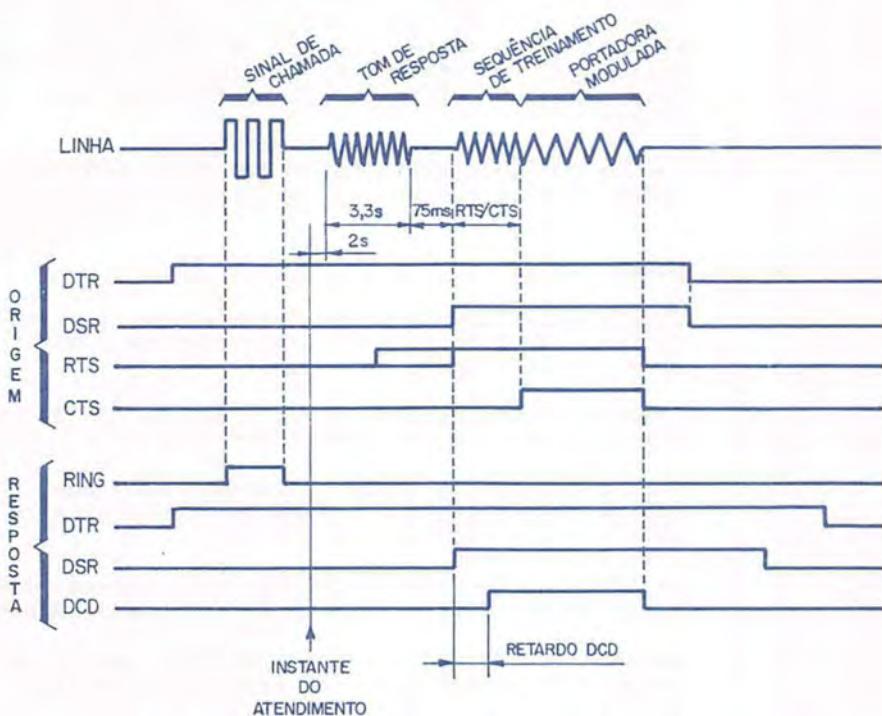


Fig.4.40 : Temporizações da resposta automática

Ao detectar o sinal de chamada, emitido pela central telefônica, o modem sinaliza a interface digital com RING="1". Se DTR="0" a chamada não será atendida.

Após detectar o sinal de chamada, o modem atende, se conectando à linha, permanece em silêncio durante aproximadamente 2 segundos e, então, transmite o tom de resposta (2100 Hz).

O número de sinais de chamada necessário ao atendimento é variável e depende do modem. Alguns, inclusive, permitem selecionar este parâmetro.

Após enviar o tom de resposta ele fica em silêncio durante 75 ms e então faz DSR="1", indicando ao ETD que terminou seu procedimento de atendimento. Neste instante, se o ETD já estiver com seu RTS="1", a transmissão da sequência de treinamento é iniciada.

Se RTS="0", supõe-se que o modem resposta deve receber, inicialmente, sinal do modem remoto. Os modems, normalmente, possuem uma facilidade, selecionável, de desconexão por ausência de portadora após um determinado tempo (110ms, 20s, 40s ou 60s).

Se, a qualquer instante, o ETD fizer DTR="0", o modem deve se desconectar da linha.

4.4.2 MODEM ORIGEM

Como falei, durante o tom de resposta, o operador da estação chamadora deve providenciar que seu modem ocupe a linha.

O modem origem deve detectar o fim do tom de resposta e, após 75 ms, fazer DSR="1".

Se o modem remoto estiver transmitindo, sua portadora será detectada e este fato será sinalizado na interface digital com DCD="1".

Observe que os sinais DSR dos dois modems devem subir para "1" aproximadamente ao mesmo tempo.

Em geral, o primeiro retardo RTS-CTS imediatamente após ao procedimento de resposta automática, é mais longo que o normal, variando de 700ms a 1400 ms. O mesmo acontece com o primeiro retardo DCD, que pode estar entre 300ms e 1000ms, dependendo do tipo de modem.

4.5 DISCAGEM AUTOMATICA

A facilidade de discagem automática pode ser encontrada em alguns modems, principalmente nos de baixa e média velocidades (300, 1200 e 2400 bps), como os tipos V21, V22, V23 e V22bis, pois estes são utilizados para acessar sistemas via linha telefônica comutada, como por exemplo, o Videotexto.

Digo que o modem possui tal facilidade quando ele executa a discagem da linha telefônica.

Existem dois tipos de discagem :

- Por comando direto no DTR
- Por número armazenado.

4.5.1 DISCAGEM POR COMANDO DIRETO NO DTR

Neste caso, a discagem é realizada pelo modem, chaveando o relé de linha sob comando direto do sinal DTR da interface RS232.

O ETD comanda diretamente a discagem, sob controle de um programa específico que permita posicionar o sinal DTR conforme os números a serem discados. Em outras palavras, o relé fica diretamente sob controle do ETD, como ilustra a figura abaixo.

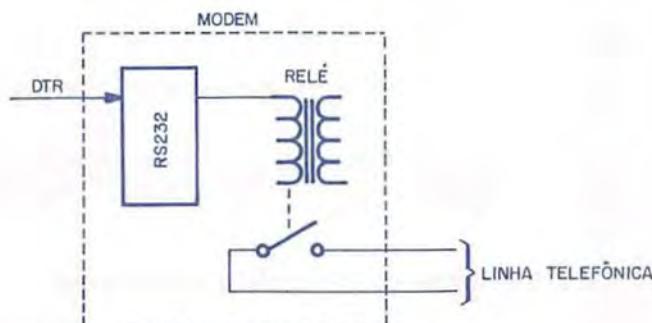


Fig.4.41 : DTR comanda o relé de discagem

Como você viu no item 2.2.1, a discagem na linha telefônica é feita por interrupções de sua corrente contínua, tantas vezes quanto for o valor do algarismo, com excessão do "0" que corresponde a 10 interrupções.

A tabela abaixo mostra os estados possíveis do sinal DTR, as posições do relé e os respectivos estados da linha telefônica.

DTR	Relé	linha	corrente
"0"	aberto	aberta	interrompida
"1"	fechado	curto	circulando

O ETD, portanto, deve fornecer um sinal DTR que varie de acordo com o número a ser discado. A figura abaixo ilustra o comportamento do sinal DTR para realizar a discagem do número "134".

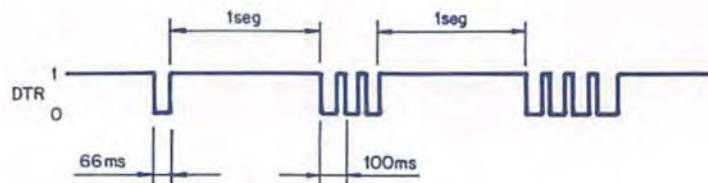


Fig.4.42 : Discagem do número 134

Os micromodems e os modems RD32 e MX22 da Rhede possuem a facilidade de discagem por comando direto no DTR.

4.5.2 DISCAGEM POR NUMERO ARMAZENADO

Este tipo de discagem, às vezes chamada de "discagem esperta", é efetivada pelo modem, que consulta o número telefônico previamente armazenado em uma posição de sua memória.

Para que a discagem seja iniciada, o ETD deve enviar um código de comando específico pelo pino 2 (DTX) da interface RS232.

Este comando segue um protocolo de conhecimento, tanto do modem, quanto do ETD.

Os dois protocolos mais conhecidos são o "Hayes", desenvolvido por um fabricante americano de modems (Hayes), e o "V25bis", estabelecido na recomendação CCITT de mesmo nome.

Atualmente, talvez o Hayes seja o mais difundido dos dois, pois vários programas de comunicação desenvolvidos nos Estados Unidos para micro-computadores pessoais, como o "Smartcom" e o "Cross-talk", utilizam tal protocolo.

Um modem, que possua discagem por número armazenado, seguindo o protocolo Hayes ou V25bis, normalmente possui dois estados de operação distintos : "local" e "comunicação".

No estado "local" ele recebe os códigos de comando, na forma serial, pelo pino 2 (DTX), os executa e devolve uma mensagem ao ETD pelo pino 3 (DRX), também na forma serial, tudo de acordo com o protocolo estabelecido.

Existem dois comandos básicos : um que carrega o número na memória do modem e outro que ordena a discagem do número armazenado.

O modem Rhede MR22 possui a facilidade de discagem por número armazenado e, caso você queira conhecer em detalhes os protocolos citados, consulte seu manual do usuário.

4.6 MICROMODEM

Achei importante separar esta categoria de modem porque ela possui características bem particulares.

Estou chamando de "micromodem" a todo modem, constituído unicamente por uma placa de circuito impresso, que se encaixa diretamente dentro de um micro-computador, ou seja, se conecta diretamente ao barramento deste micro.

O fato do micromodem (algumas pessoas o chamam de "placa modem") se comunicar diretamente com o barramento do micro os torna muito íntimos entre si, ou seja, o micromodem possui uma série de particularidades para se comunicar com o micro para o qual ele foi feito.

Sob os pontos de vista mecânico e elétrico, o micromodem deve atender exatamente as características do micro :

Possuir um conector compatível com o do micro.

Possuir dimensões tais que permitam a sua conexão dentro do micro, como se fosse uma placa de expansão, por exemplo.

Possuir um consumo de energia aceitável pelo micro, pois a sua alimentação é fornecida pelo micro-computador.

Possuir uma interface compatível com o barramento do micro.

Como a comunicação entre micromodem e micro se dá diretamente ao nível do barramento, a informação aí disponível, sob forma paralela, deve ser convertida para serial no próprio micromodem.

Se você deseja conectar um modem externo em um micro, este deve estar equipado com a placa RS232 (placa interface serial), mas se você utilizar um micromodem a placa RS232 é dispensável pois a função que ela realizaria (conversão paralelo/série) já é realizada pelo micromodem, como falei anteriormente.

Como não oferece um painel de seleção, disponível ao usuário, o micromodem exige um programa de comunicação que o predisponha a operar convenientemente, ou seja, que permita selecionar algumas funções, tais como a velocidade de operação, a conexão/desconexão a linha, o modo origem/resposta, entre outras.

As diferenças fundamentais entre o modem externo e o micromodem são :

MODEM	MICROMODEM
Externo ao micro	Interno ao micro
Possui fonte de alimentação própria	Utiliza alimentação fornecida pelo micro
Interface serial RS232	Interface direta com o barramento do micro
Pode ser conectado a qualquer máquina que possua interface serial RS232	Só pode ser conectado ao micro para o qual foi projetado
Programa de comunicação visando apenas a transferência dos dados	Programa de comunicação visando também a seleção de funções operacionais no modem