

## INTERCONEXÃO DE MICRO COMPUTADORES ATRAVÉS DA REDE DE ENERGIA ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO: A REDE LOCAL LAN+BT

**BORIS SITNIK**, Eng; **WALTER GODOY JR**, Eng, Dr; **EMÍLIO C.G.WILLE**, Eng, Msc

**CEFET**: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná; Av. 7 de Setembro, 3165, CEP=80.230-901; fone: (041)322-4544, fax: (041)224-5170, telex: (041)5562; E-MAIL: CPGEI@CEFET.ANPR.BR

**Resumo:** Este artigo apresenta as características necessárias para o funcionamento de uma Rede Local de Computadores utilizando a rede elétrica de baixa tensão (127/220V-interna) como meio físico de transmissão, as medidas neste meio, e as experiências iniciais de transmissão que levaram à interface de comunicação apresentada.

### 1- INTRODUÇÃO

Uma solução de rede local eficiente e de baixo custo, poderá servir para interligar Computadores, em aplicações com taxa de transmissão e tempo real não significativos.

Para instalações com restrições em infra-estrutura, pode-se aproveitar a Rede Elétrica existente de Baixa Tensão (BT) como meio de transmissão de dados, em rede local ou de controle, desde que adequada para possibilitar a convivência de sinais de dados com a energia elétrica presente. O mesmo princípio poderá ser utilizado em Redes de Distribuição de Energia Elétrica para supervisão, controle e automação das mesmas.

A rede local procurada, denominada LAN+BT, deverá operar com uma interface com o meio físico, que além de compatibilizar os sinais de dados e elétricos, também deverá prover o acesso ao meio de transmissão, codificar sinais visando correção de erros, e a interfacear com o processador, preferencialmente pela porta serial (RS 232-C)[1].

Atualmente existem diversos sistemas de comunicação utilizando as redes de baixa (220/127VCA) e média (34,5/13,8KV) tensões como meio de transmissão, lançando mão de diversas técnicas (AM-SSB, FM, ASK, FSK, PSK e PN-SS) para comunicação de voz e dados[2, 3]. Os diversos processos de modulação/codificação utilizados procuram fazer com que as características não estáveis do meio elétrico sejam compensadas. Outros sistemas de comunicação para o mesmo propósito (curtas distâncias e/ou dentro de edificações) podem ser usados em substituição aos de linha física, mas que exigem cuidados específicos.

Neste trabalho serão abordadas as características do meio, a rede local, as conclusões obtidas com a versão inicial da interface de comunicação e com a versão atual.

## 2- A REDE ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO (BT) COMO MEIO DE TRANSMISSÃO

Devido a fatores de origens interna e externa, a rede de BT sofre interferências que poderão afetar o funcionamento de sistemas que venham a utilizá-la como meio de comunicação.

As interferências de ordem interna (ruído impulsivo, de centelhamento, de rajadas, variação de cargas, etc), e de ordem externa (harmônicos da rede (60Hz), induções eletromagnéticas, rádio-interferência, descargas atmosféricas, etc), possuem características de intensidade, frequência e duração, que são funções dos locais, tipos de instalação, equipamentos presentes e do tempo.

A rede BT (após a transformação 34,5/13,8KV) possui (em média) as seguintes características:

Tensão bi/monofásica= 220/127V, +4/-8%(valor eficaz); Frequência= 60Hz, +/-8%; Aterramento= Neutro aterrado(medição e transformador); Ruído Impulsivo[4]=Nível:-20 a -75dB, Freq.:35-1000MHz; Ruído Residual[5]:Nível=-40 a -50 dBm,-Freq.:5 a 50kHz/-50 a -75 dBm, Freq. > 50kHz; Presença de Harmônicos[6]=Tipo: 2 a 40,-Freq.(até 10 kHz): 120 a 2400Hz, -Nível: 0,2% da tensão nominal - harmônicos pares (2-40), e 0,85% a 0,25% da tensão nominal - harmônicos ímpares (3-39); Impedância De 1 a 100ohms (Valor típico = 10ohms).

A impedância, a atenuação e o ruído, caracterizam qualquer canal de comunicação, e são necessários para se projetar as formas de sinais, códigos controladores de erros e protocolos de comunicação. Assim, para a rede elétrica de baixa tensão (BT), também se caracterizam ruídos, atenuações e impedâncias, cujas fontes e valores médios, servirão de guia para caracterizar o canal de comunicação envolvido.

(a) - As cargas conectadas à rede elétrica são a principal fonte de RUÍDO "interno" à mesma, e uma das mais significativas são os Dispositivos Controlados à Disparo (SCR's ou TRIAC's), operando em sincronismo com a frequência da rede, chegando a causar sinais de 80mVeff em múltiplos de 60Hz em torno e 100KHz, para um controlador de luz de 400W [7], do tipo ruído impulsivo periódico. Estes dispositivos chegam a causar um aumento de mais de 40dB em relação ao ruído de fundo, que para a faixa de 100KHz varia entre -50 e -70dBm [8].

Os Motores Universais são outra fonte de ruído periódico, mas não com a frequência da rede, e sim função da velocidade e carga submetidas.

Na faixa de 100KHz, pode-se encontrar ruído em torno de 50dB abaixo de 1 Volt para eletrodomésticos em geral. Também de caráter impulsivo são os sinais de frequência de linha horizontal (15750Hz) de TV, e as fontes chaveadas encontradas em diversos aparelhos eletrônicos.

De um modo geral, o ruído impulsivo é pior no meio industrial, moderado em escritórios e menor em residências. A figura 2.1 ilustra um levantamento feito nos EUA para a variação do ruído com a frequência, para diversos ambientes e linhas de distribuição de energia elétrica [9]. Pode-se observar variações de até 30db para uma determinada frequência, entre o ruído presente em linhas urbanas e rurais, bem como uma variação de 6dB no ruído de um determinado ambiente durante um período de 24 horas [3].

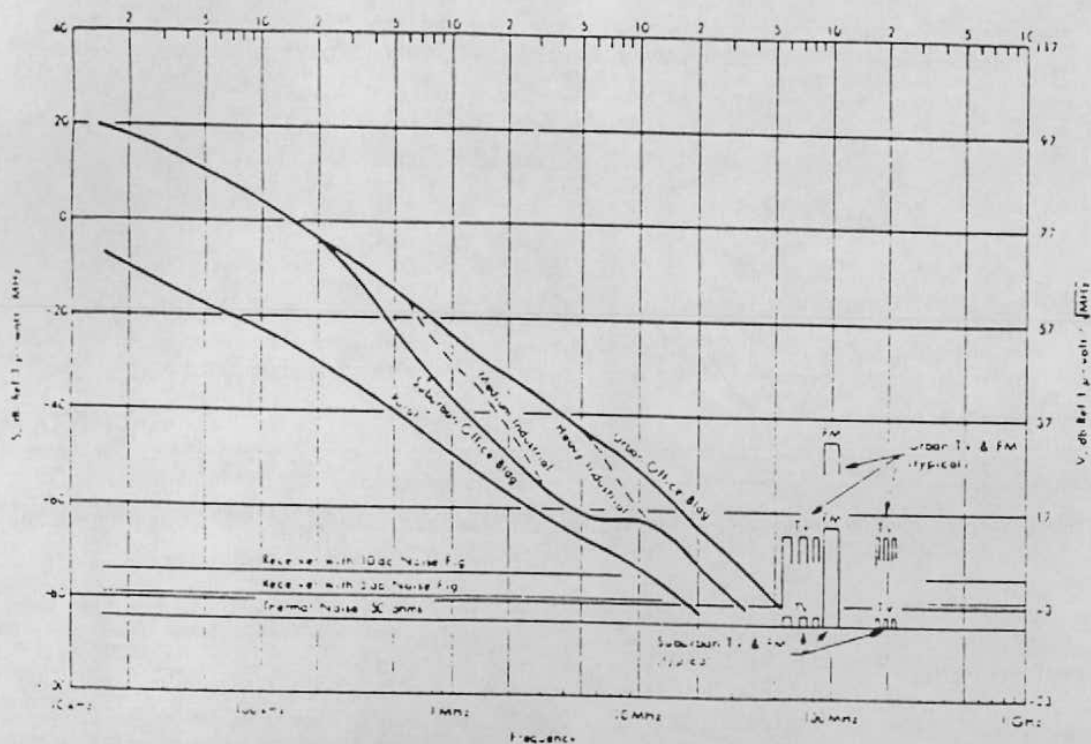


Fig. 2.1 Power line noise levels coupled into a 50  $\Omega$  receiver

(b) - A variabilidade da ATENUAÇÃO com a frequência é um dos grandes problemas enfrentados quando se usa a rede elétrica para transmissão de sinais, resultante em parte devido às cargas elétricas conectadas e, em parte, pelos efeitos da linha de energia. Para frequências abaixo de 100KHz, a atenuação se mantém aproximadamente constante, e possui em acréscimo linear de 0,25dB/KHz entre 100 e 200KHz [10]. Para distâncias menores que 400m e frequências abaixo de 100KHz, os efeitos da linha de transmissão (formada pela rede elétrica) não são significativos, o que já não acontece para frequências mais altas e linhas longas.

As cargas são um fator importante, pois dependendo de sua natureza pode-se formar caminhos de transmissão entre fases (ou entre fase e neutro) na rede elétrica, causando atenuação entre os pontos nesta rede. A inserção e retirada destas cargas provoca variação

na atenuação do sinal entre dois pontos de um mesmo ambiente ou ambientes distintos.

As dificuldades de determinação analítica do comportamento da atenuação para ambientes em rede elétrica, sugere que sejam efetuadas medidas, mostrando o comportamento com a frequência, bem como sua variabilidade com os locais, horário, e influência de cargas. As figuras 2.2 e 2.3 mostram a variação da atenuação com a frequência entre dois pontos de um mesmo local, verificados em períodos diferentes nas dependências do Cefet/PR.

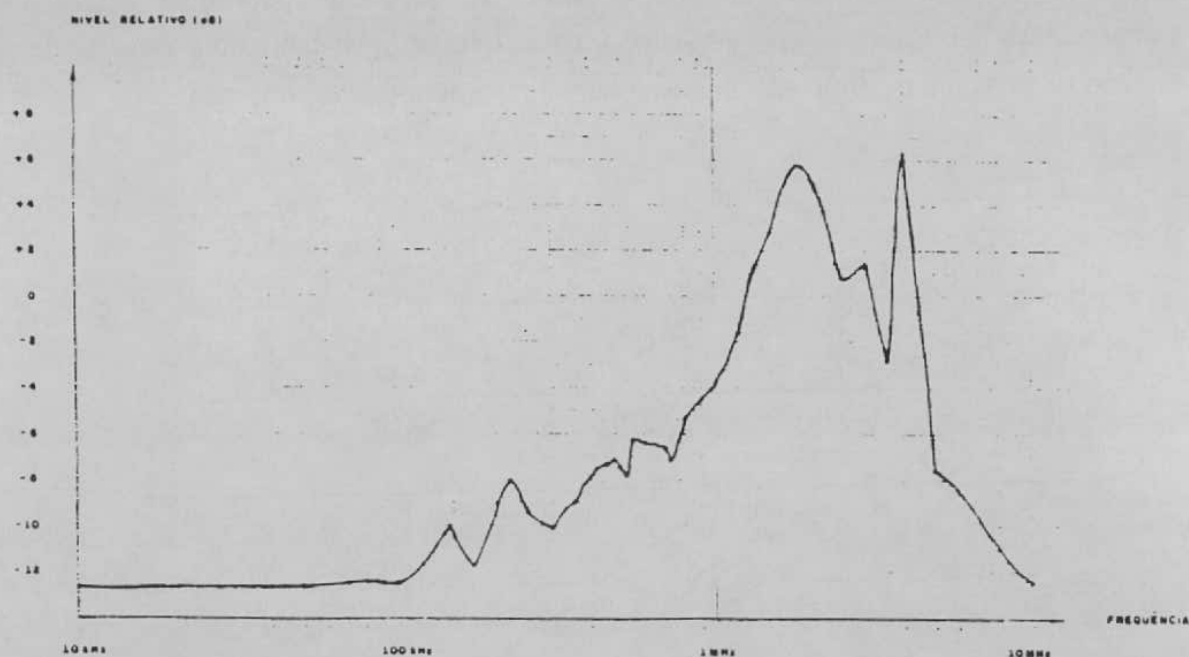


Figura 2.2 - Medida de resposta em frequência da linha BT (127V), no LAB III CPGEI/CEFET-PR, em 24/08/92 às 10:30h

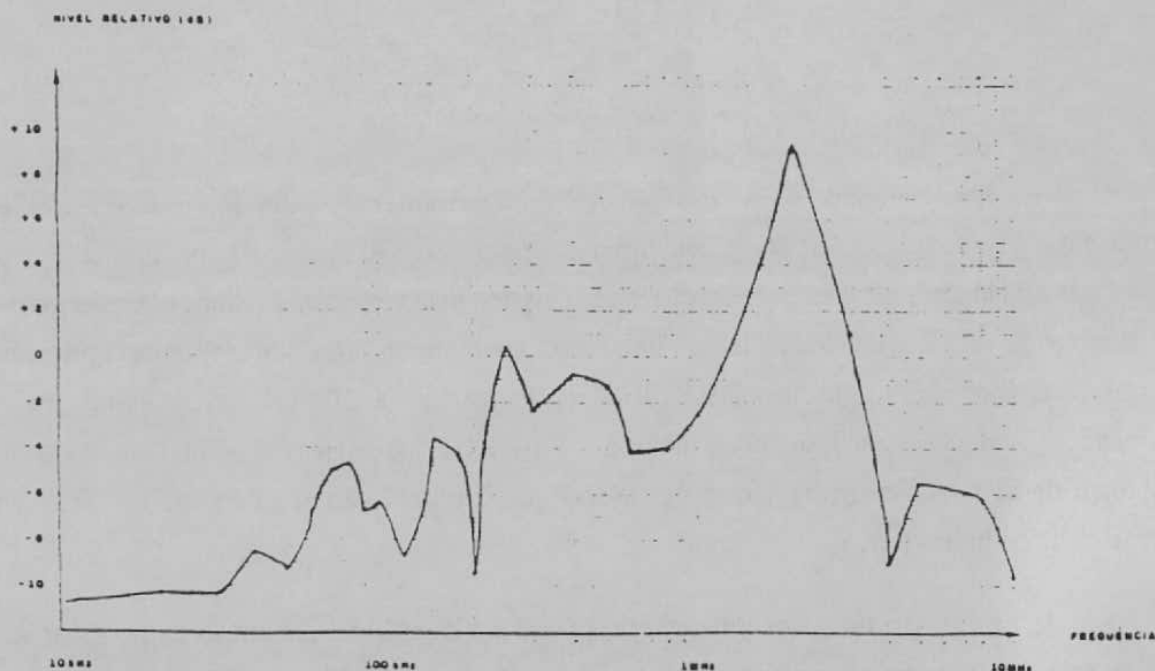


Figura 2.3 - Medida de resposta em frequência da linha BT (127V), no LAB III do CPGEI/CEFET-PR, em 25/08/92 às 16:30h

Dependendo do ambiente e do tipo de ligação, pode-se observar variações de até 40dB entre 50 e 200KHz, para uma determinada distância entre pontos da rede. Em média, para 100KHz e distância aproximada de 50m, em um sistema fase-neutro (120V) para um ambiente industrial, a atenuação pode variar entre 20 e 30dB; já para um ambiente residencial, a atenuação fica na faixa de 10dB para as mesmas características anteriores [11].

(c) - O conhecimento da distribuição das IMPEDÂNCIAS na rede elétrica é de suma importância para o seu tratamento. De medidas de variação de impedâncias com a frequência, efetuadas nos EUA, obteve-se para 36 situações de linhas (rede 115/220V), representando as impedâncias que se apresentam aos dispositivos conectados às tomadas, valores médios de 10 ohms para os módulos destas impedâncias [12]. Para a faixa de 20 a 100KHz, as impedâncias residenciais são determinadas pelo secundário do transformador de distribuição, cabeção de entrada, fiação interna e cargas conectadas, caracterizando um caráter indutivo, com ângulo de fase entre -20 e +20 graus, nas proximidades de 100KHz [13]. São estas características que deverão ser consideradas no desenvolvimento da interface entre microcomputador e rede elétrica.

Foram feitas medições das interferências para diversos ambientes, analisando-se o espectro de frequências presente na rede elétrica, desde 60Hz até 600kHz (figuras 2.4 e 2.5). Nota-se que abaixo de 20kHz não se pode operar facilmente devido à presença de ruídos e harmônicos de 60Hz; acima de 500kHz não é desejável pela presença de sinais de emissoras (AM) e de Sistemas de Rádio-Farol, de outros efeitos em frequências mais altas (aumento da atenuação com a frequência), e de reflexões causadas pelo grande número de cargas e derivações de linha. Também foram levantadas as impedâncias da rede elétrica com relação à faixa de frequências, mostrando certa estabilidade nas faixas medidas.

Então, observa-se que é possível trabalhar nas faixas de 80 a 120, 200 a 240 e 300 a 400kHz, e, como quanto maior a frequência maior será a atenuação no meio elétrico, é desejável para ambientes restritos, que se use frequências até 100kHz onde os efeitos das linhas de transmissão não são tão severos, inclusive simplificando todos os estudos de modelos [14]. Para o estudo presente, optou-se pelo uso de 80KHz, levando-se em consideração as características da rede elétrica (BT) já mencionadas para esta faixa.

O meio elétrico apesar de inóspito para operar como canal de comunicação de dados, apresenta em geral, vantagens e desvantagens; apesar da cobertura universal e acesso fácil através das tomadas, as cargas conectadas à rede formam caminhos para os sinais que às vezes podem ser indesejados. Além disto, o "canal" assim formado possui largura de banda limitada, um alto nível de ruído e variações nos níveis de impedâncias, ruído e atenuação. Portanto, este canal deve ser tratado de maneira a se compensar estes efeitos, isto é, é necessário o uso de um Processo de Modulação para transladar o espectro do sinal a ser transmitido para a região do espectro menos afetado pelo ruído e atenuação (100KHz).

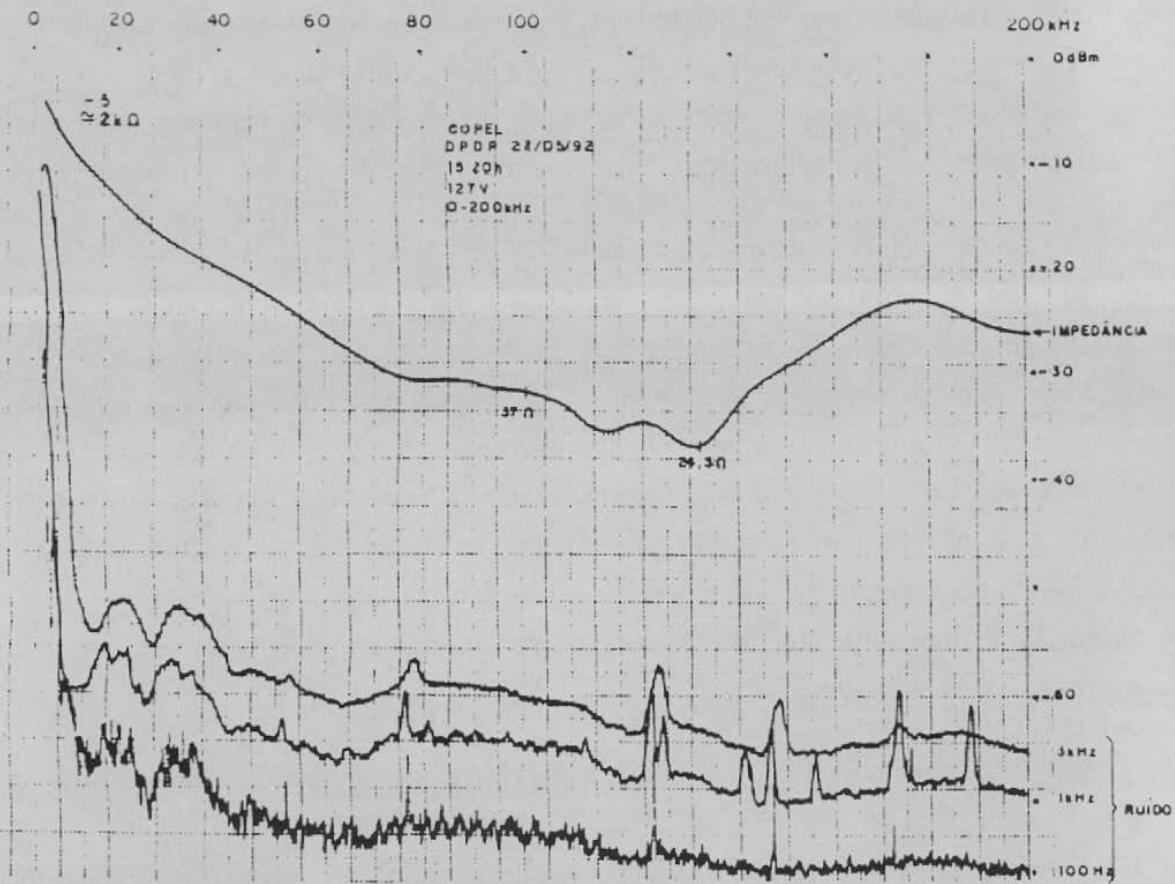


Figura-2 4 - Variação de ruído e impedância na rede BT

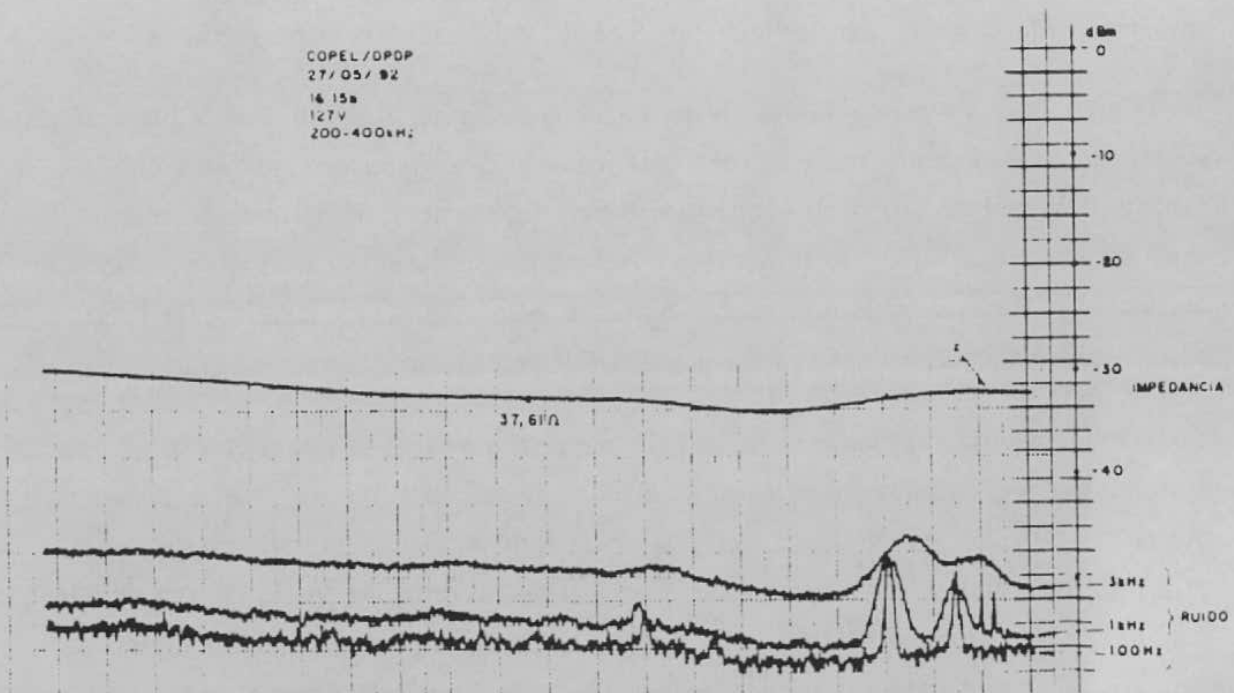


Figura-2 5 - Variação de ruído e impedância na rede BT

Dos processos possíveis e de fácil implementação, optou-se pelo FSK, por possuir envoltória constante, adequada à canais não lineares, e invariante com a fase, cuja alteração no meio em estudo é intensa. Além disto, o processo FSK oferece um espectro mais estreito (densidade espectral de potência) quando comparado a outros processos, podendo este espectro ser moldado pela escolha adequada do desvio de frequência. Também, os processos de discriminação FSK, coerente e não coerente, diferem menos de 1dB (pior para não coerente) para uma probabilidade de erro de  $10^{-4}$  [15].

Normalmente, para se aumentar a confiabilidade do sistema aumenta-se a potência de transmissão com conseqüente aumento da relação sinal-ruído na entrada do receptor. Isto não é possível no sistema em desenvolvimento, devido à limitações que se impõe ao sinal (alta frequência) na rede BT - máximo de 3% do valor nominal da tensão na linha. Então, pode-se utilizar códigos controladores de erros, aumentando a largura de faixa para se manter a mesma taxa de transmissão.

O recurso da Modulação Codificada, que associa as vantagens da codificação e modulação simultaneamente, procura aumentar a eficiência do sistema (conjunto) sem acréscimo de potência do sinal transmitido, com pouco aumento da largura de banda requerida. Pelo aumento do alfabeto ou do número de símbolos codificados é conseguida a redundância ao processo de codificação, sem aumento da faixa utilizada, conseguindo-se ganhos sem perdas na taxa de transmissão [16].

No caso, onde se trabalhará com duas frequências (2-FSK), deverá ser feito um arranjo (dos bits) no sentido de se compor uma distribuição tal que associe cada conjunto de  $n$  bits a uma decisão do receptor, minimizando a probabilidade de erro.

### 3- INTERFACE ENTRE A ESTAÇÃO E A REDE BT

A interface com a rede BT deverá atender, de um lado, os sinais de dados e controle junto à conexão serial; de outro os sinais (modulados) do circuito, que tem acesso à rede elétrica. Além de adaptar um sinal digital à rede elétrica, esta deverá compensar a maioria dos ruídos e interferências presentes, utilizando-se de recursos de modulação, detecção e correção de erros e outras técnicas, necessárias para garantir um desempenho satisfatório da rede. A interface constará de um dispositivo multifunções (figura 3.1), que:

- permitirá que os sinais digitais provenientes da estação possam ser codificados, modulados, amplificados, filtrados e trafeguem pela rede elétrica, garantindo que a seqüência de bits a ser entregue apresente baixa Taxa de Erro de Bit;
- filtrará a BT para a estação e seus periféricos, e evitará que o ruído proveniente das fontes de alimentação (CC) destes equipamentos possa interferir na rede BT (opcional);
- permitirá proteção e aterramento adequados, bem como conterà conversores CA/CC para

alimentação dos circuitos desta interface;

- proverá troca de sinais de controle com a estação (micro computadores) via unidade de lógica.

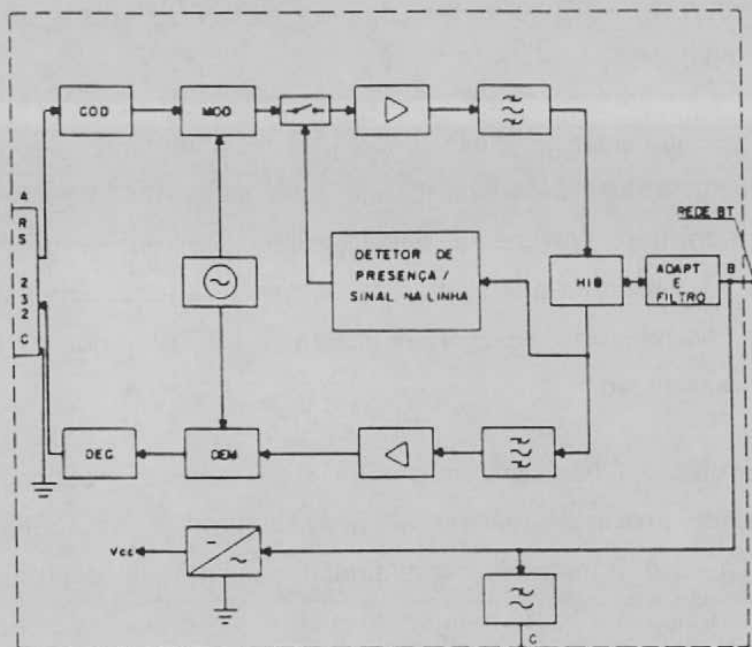


FIGURA 3.1 — DIAGRAMA EM BLOCOS DO DISPOSITIVO DE INTERFACE ENTRE OS SINAIS DIGITAIS DA ESTAÇÃO/USUÁRIO E A REDE BT.

#### 4- PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA REDE LAN+BT

Como o meio de transmissão é altamente ruidoso, deve-se fazer um tratamento adequado no sinal de dados. Para isto serão necessários tratamentos nas etapas de:

a)- **Transmissão** do sinal: Encapsulamento da informação (quadro), onde é feita uma primeira codificação para verificação posterior de erro (CRC). A seguir é feita a modulação associada à codificação do sinal digital para transmissão junto ao meio físico.

b)- **Recepção** do sinal: Demodulação e decodificação do sinal proveniente do meio físico, com tratamento e correção automática de eventuais erros adquiridos no processo de transmissão - FEC. Desencapsulamento do quadro e nova verificação de erro, o que poderá provocar ou não a rejeição do(s) quadro(s) recebido(s) - ARQ (tipo SW="Stop and Wait").

Como, no caso, a comunicação não depende de roteamento e não necessita de dados com apresentação especial, o Software de comunicação deverá seguir uma estrutura simplificada em três camadas dentro do modelo OSI (Open System Interconnection) da ISO (International Standard Organization) [17], ou seja:

- **Física**: interface estudada, onde os sinais são tratados e encaminhados ao meio físico (rede BT);



- **Enlace:** que trata do Acesso ao Meio (MAC), do Controle de Enlace Lógico (LLC) - que fornece as funções de controle de erro (CRC), de controle de fluxo e de serviços, e uma sub-camada para tratamento de erros, via códigos controladores de erros;
- **Aplicação:** que trata dos serviços de troca de informação entre as aplicações dos usuários.

É na camada de enlace que é formado o quadro (encapsulamento) para que a informação (e/ou controle) seja transmitida(o). Para a rede local LAN+BT será adotado o quadro baseado no padrão IEEE 802.3 (figura 4.1)[1].

Como o meio de transmissão é compartilhado por todas as estações, deve-se adotar um procedimento para acessá-lo de maneira ordenada e eficiente. Tomando como referência o padrão IEEE 802.3, a técnica CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) permite que um meio seja acessado através de "escuta" do mesmo. Dentre as possíveis versões escolheu-se inicialmente a CSMA, devido a complexidade da versão CSMA/CD para sinais em banda larga (sinais modulados) [17].

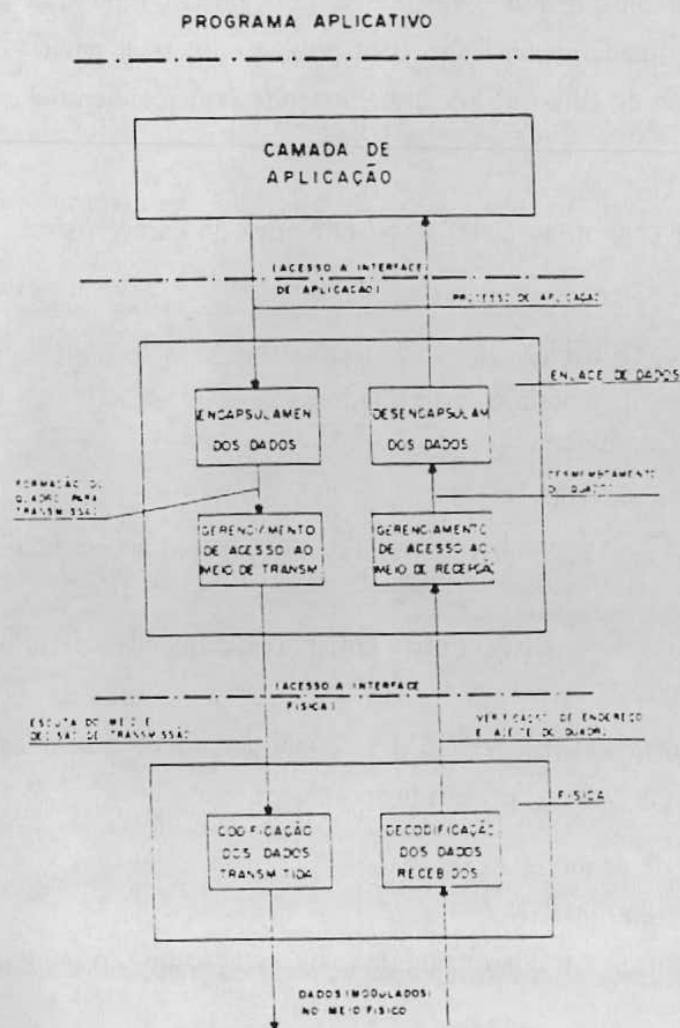


FIGURA 4.1 - VISÃO DE CONJUNTO SEGUNDO O MODELO DE REFERÊNCIA OSI

## 5- A EXPERIÊNCIA INICIAL - INTERFACE COM MODULAÇÃO ON-OFF

Quando do início do desenvolvimento deste projeto, escolheu-se uma configuração com modulação ON-OFF em 455KHz, sem códigos, afim de testar a transmissão de dados no meio elétrico e retirar algumas conclusões.

Para o acoplamento com a rede elétrica foi considerado um filtro RC passa-altas, com frequência de corte em 6KHz, e sinal modulado limitado a 3% da tensão nominal da rede de baixa tensão.

Os testes confirmaram grandes perdas de sinal (modulado) no meio elétrico (0,34dB/m) e intensa distorção devido ao comportamento deste meio.

Verificou-se o aumento da taxa de erro de bit quando se aumenta a taxa de transmissão para uma mesma relação sinal/ruído do meio e mesma frequência portadora. Comparou-se também a transmissão com rede energizada e não energizada, sendo que nesta última a taxa de erro de bit é menor. Concluiu-se também que é possível a transmissão por uma distância de aproximadamente 100m com potência de sinal igual a 1W. Além disto, confirmou-se que o nível do ruído no receptor depende principalmente das cargas próximas conectadas à rede.

Desta experiência chegou-se a um novo conjunto de características para a interface, listadas a seguir:

- Frequência (portadora)= 80KHz;
- Modulação FSK associada a códigos controladores de erro (BCM);
- Taxa de transmissão até 19.200bps;
- Tipo de transmissão= assíncrona;
- Taxa de erro de bit (TEB)= melhor que  $10^{-5}$ , para uma relação sinal-ruído menor que 20dB;
- Tipo de detecção de erro= ARQ com o tamanho de quadro da informação adequado (máximo 128 bytes);
- Controle de acesso ao meio (MAC)= CSMA. Quando aplicável para automação no sistema de distribuição de energia elétrica, deverá proporcionar:
  - Controle automático de ganho (CAG),
  - Compensação para ruído impulsivo,
  - Demodulação simultânea de todos os bits de temporização ou um sistema de sincronização eficiente,
  - Faixa de frequência ótima para a aplicação (função do ambiente),
  - Uso de microprocessadores provendo máxima flexibilidade funcional.

## 6. A INTERFACE ATUAL

A interface atual opera com modulação FSK do tipo coerente, fase contínua, utilizando-se na transmissão do CI XR-2206 e na recepção o CI XR-2211, respectivamente modulador e demodulador FSK, cujas características permitem operar com sinais digitais de níveis TTL ou CMOS, estabilidade de  $20\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$  com a temperatura, e frequência de trabalho até 300KHz.

Os níveis analógicos se situam em torno de  $3V_{\text{eff}}$ , e na recepção existe a opção de detecção de portadora, importante para os controles que se deseja na interface.

De acordo com a figura 6.1, a interface conterá uma unidade de lógica e chaveamentos, e operará inicialmente com codificação e decodificação através de Software. Conterá controle de ganho (CAG) para tornar o sinal de recepção o mais independente possível da distância entre duas estações em comunicação.

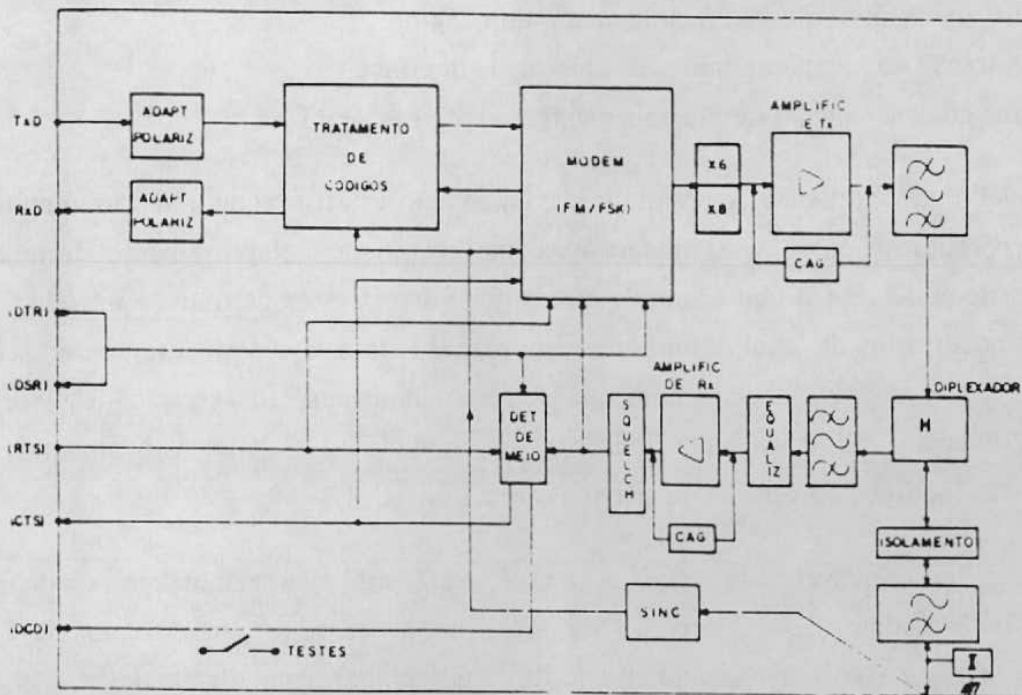


FIG. 6.1 - DIAGRAMA EM BLOCOS DE PLACA DE INTERFACE PROPOSTA PARA MODULAÇÃO EM FM

P/FONTE CC ... MHA DE ALIM. CA

O estágio de saída de potência tem a característica de compensar variações de impedância entre 5 e 50 ohms, com sinal de saída máximo em torno de  $10V_{\text{pp}}$ , equivalendo aproximadamente a 3% da tensão nominal ( $127V_{\text{eff}}$ ), através de filtro (FPA) de rede, formado por transformador isolador e capacitores de isolamento.

Na entrada do receptor, o filtro (FPA) de rede também formado por transformador isolador e capacitores, casa-se com a entrada (limitador e amplificador CAG). Os filtros 75/85KHz servem para melhorar a relação sinal/ruído na entrada do detetor FSK (XR-2211).

A interface com as estações será em níveis RS-232C (serial), que atenderá também os

sinais de controle (RTS, CTS e DCD), necessários à operação da lógica de controle e ao chaveamento entre transmissão e recepção.

Em uma etapa posterior, serão montadas placas com CI dedicado à comunicação com modulação FSK pela rede elétrica BT.

## 7. CONCLUSÕES

Pretende-se com esta interface obter as características de funcionamento estabelecidas no item 5 deste trabalho. Porém, ainda deverão ser atingidas algumas fases, tais como:

- levantamento de características comportamentais de ruído na rede BT;
- adaptação de códigos/cominação código-modulação para melhorar os perfis levantados;
- Software definitivo para funcionamento do conjunto;
- elaboração da versão definitiva das placas de interface;
- testes de desempenho de funcionamento da rede LAN+BT.

Foi elaborado Software que permitirá levantamento estatístico de comportamento do "canal" de comunicação, ou seja, ajudará na compreensão do comportamento deste com relação aos tipos de erro de bit ("burst", aleatórios). Estes testes permitirão introduzir os parâmetros necessários de local, tempo-duração, cargas, tamanho de mensagem e taxa de transmissão, entre outros, fazendo com que se tenha uma idéia de variação destes erros (para as diversas situações mencionadas), possibilitando o dimensionamento das contramedidas (códigos corretores de erros) a serem utilizadas.

Quanto ao Software da rede LAN+BT, está em sua elaboração final, que, proporcionando a detecção e correção de erros no processo de modulação (FEC) e verificação final de erro em cada quadro (ARQ), possibilitará um funcionamento com a confiabilidade desejada, o que deverá ser apurado através dos testes finais de desempenho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. SITNIK, B. et alli - "Rede local (industrial) de computadores com transmissão pela rede de energia elétrica de baixa tensão -- LAN+BT" - Trabalho aprovado para o 5º. Congresso Nacional de Automação Industrial (CONAI/92).
- [2]. CHEEK, R.C. - "A Comparison of the Amplitude -Modulation, Frequency-Modulation and Single-Side-Band Systems for Power-Line Carrier Transmission" - Electrical Engineering - Transactions, Vol.64, May 1945, pp.215-220.
- [3]. VAN DER GRACHT, P.K. et al - "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Cicuits" - IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-33, No. 9, pp 964-974, September 1985.
- [4]. OWEN, R.E. et alli - "Measurements of Impulsive Noise on Electric Distribution Systems" - IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No.6, Nov./Dec. 1980.
- [5]. SHUEKY, K. - "Communicating by two-way Distribution Line Carrier" - Electric Light & Power, March 1989 (Automated Distribution/Westinghouse Electric Corp.).
- [6]. MAYNAUD, P. - "Pollution de la tension" - Services des Etudes de Réseaux, Direction des Etudes et Recherches, Electricité de France (EDF), RGE-Tome 89-No.9-pp. 595-611, Septembre 1990.
- [7]. VINES, R.M. - "The Characterization of Residencial Impedance and Noise for Power Line Carrier Communications" - Report of the Center for Communication and Signal Processing, Box 7914, Rayleigh, NC, 27695 - 7914, June 10, 1983.
- [8]. CHAN, M.H.L. et al - "Local Area Networking on Intrabuilding Electric Power Distribution Circuits - Physical Layer Considerations" - IEEE Pacific Rim Conference on Communication Computer and Signal Processing, June 4-5, 1987, pp. 109-116.
- [9]. SMITH, A.A. Jr. - "Power Line Noise Survey" - IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Feb. 1972, pp. 31-32.
- [10]. OSCHNER, H. - "Data transmission on low voltage power lines using Spread Spectrum techniques" - Proc. on Canadian Communications & Power Conference, Montreal, Quebec, Oct. 15-17, 1989, pp 236-239.
- [11]. CHAN, M.H.L. et al - "Attenuation of Communication Signals on Residencial and Commercial Intrabuilding Power Distribution Circuits" - IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-28, No.4, Nov. 1986, pp. 220-230.

- [12]. NICHOLSON, J.R. et al - "RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interference Measurements" - IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, May. 1973, pp.84-86.
- [13]. VINES, R.M. et ali - "Impedance of Residencial Power -Distribution Circuits" - IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, Vol. EMC-27, N0.1, Feb. 1985, pp. 6-12.
- [14]. SITNIK, B. - "Desenvolvimento de um dispositivo de interface para redes locais usando como meio fisico a rede elétrica de baixa tensão (BT)" - Trabalho Final do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Set. 1992.
- [15]. BYLANSKI et al - "Digital Transmission Systems" - IEE Telecommunications Series 4, Peter Peregrinus Ltd (England), 1980, Chapter 13, pp. 343-380.
- [16]. GODOY, W.Jr. - "Esquemas de Modulação Codificada com Códigos de Bloco" - Editora CEFET-PR, 1991.
- [17]. STALLINGS, W. - "Tutorial: COMPUTER COMMUNICATIONS-Architectures, Protocols and Standards" - IEEE Computer Society Press(Order No. 790), pp.105-106, 1987.