

## DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE MODEM PLC DE BAIXO CUSTO PARA COMUNICAÇÕES RESIDENCIAIS

Deborah Maria Vieira MAGALHÃES<sup>(1)</sup>, Ricardo Rodrigues de ARAÚJO<sup>(2)</sup>

<sup>(1)(2)</sup> CEFET-CE e-mail: <sup>(1)</sup> [deborah.vm@gmail.com](mailto:deborah.vm@gmail.com), <sup>(2)</sup> [rra@cefetce.br](mailto:rra@cefetce.br)

### RESUMO

A comunicação através das linhas de transmissão de energia, também denominada PLC (*Power Line Communications*), desponta como bastante promissora para prover acesso a redes de dados. A infra-estrutura de distribuição de energia é muito maior que a de dados convencionais, de forma que o uso dessa tecnologia poderia baratear os custos e universalizar o acesso às redes de dados. Neste trabalho buscou-se desenvolver uma solução de baixo custo para prover comunicação de dados de maneira eficiente, dentro das condições típicas de um canal PLC em uma rede residencial. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico para verificação das tecnologias existentes e da adequação de cada uma aos objetivos do trabalho. Após a identificação das tecnologias a serem usadas, foi realizada a construção dos protótipos de modem PLC. Foram desenvolvidos dois protótipos: um com modulação ASK e outro com modulação FSK. Os dois protótipos foram comparados entre si e com um modem baseado em *chipset* da STMicroelectronics. O desempenho dos protótipos foi medido em termos de taxa de bits efetiva em função da distância entre os terminais de comunicação. Os resultados obtidos indicam que a solução baseada na modulação FSK possui desempenho melhor do que aquela baseada em modulação ASK.

**Palavras-chave:** PLC, rede elétrica, modem, protótipo, *Power Line Communications*

## 1. INTRODUÇÃO

Não há dúvidas que vivemos um período de crescente demanda por serviços de telecomunicações, seja da transmissão de voz e imagens à transmissão dos mais variados tipos de dados. Este crescimento tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que forneçam o suporte para a transmissão da informação. Neste sentido, grandes avanços têm sido obtidos no campo das comunicações sem fio e das comunicações ópticas, contudo há diversos outros campos onde há muito para se desenvolver. Neste escopo, podemos incluir as tecnologias que se utilizam da infraestrutura de distribuição de energia elétrica como suporte físico para transmissão de dados. Tais tecnologias, conhecidas pela sigla PLC (*Power Line Communications*), vêm ganhando espaço. Por utilizarem uma infraestrutura já existente, apresentam custos reduzidos na fase de implantação. Além disso, a rede elétrica atinge quase a totalidade das residências do país, o que faz que as tecnologias PLC cubram uma parcela da população bem maior que as concorrentes como, por exemplo, ADSL, WiMax ou Cable Modem. Há ainda a facilidade de qualquer tomada da residência poder se tornar um ponto de acesso à rede de dados.

No mercado, há várias soluções para comunicação de dados através da rede elétrica, contudo ainda apresentam um custo significativo. Soma-se a isto, o fato dessas terem sido desenvolvidas e avaliadas baseadas nas condições encontradas na Europa, EEUU e Japão. Este trabalho apresenta protótipos de baixo custo que conseguem transmitir dados de maneira eficiente em aplicações residenciais de baixa velocidade. Uma das alternativas para diminuir o custo dos protótipos que utilizam modulação ASK e FSK respectivamente, foi a substituição de circuitos sofisticados de acoplamento por circuitos simplificados, que diminuam o desempenho do protótipo, mas se justificam pelo custo e necessidade das aplicações.

É difícil falar sobre os trabalhos desenvolvidos sem antes discorrer sobre alguns aspectos relativos ao PLC. A Seção 2 realiza uma breve apresentação de alguns padrões lançados no mercado na tentativa de sanar os problemas oriundos da falta de padronização. A Seção 3 apresenta os desafios enfrentados pelo PLC devido às imperfeições do canal e discorre ainda sobre algumas técnicas de modulação que podem proporcionar uma melhoria no desempenho do mesmo. A Seção 4 aborda de forma sucinta as aplicações residenciais do PLC, cita alguns exemplos e destaca a necessidade de se utilizar técnicas de segurança. Finalmente, a Seção 5 apresenta as soluções desenvolvidas. A Seção 5.1 apresenta o protótipo de custo intermediário baseado no *chipset* ST7540 através do seu diagrama de blocos e respectiva descrição. Essa solução serve de parâmetro de comparação para as soluções descritas nas seções 5.2 e 5.3. A Seção 5.2 apresenta o protótipo de baixo custo baseado na modulação ASK através do seu diagrama de blocos, composto pelo circuito de modulação e demodulação, e respectiva descrição. A Seção 5.3 discorre sobre o protótipo de baixo custo baseado na modulação FSK através do seu diagrama de blocos, também composto pelo circuito de modulação e demodulação, e respectiva descrição. A Seção 6 realiza uma avaliação das soluções desenvolvidas em relação ao desempenho e descreve o cenário de testes de forma concisa. As conclusões e trabalhos futuros são abordados na Seção 7.

## 2. PADRONIZAÇÃO

Existem fatores que impedem a ampla utilização da tecnologia PLC, entre eles, a ausência de padronização, que implica na falta de interoperabilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes. Sem tal padronização, as companhias de energia que invistam na comunicação através das linhas elétricas poderiam acabar com uma grande quantidade de modems inutilizáveis para os consumidores. A adoção de um padrão internacional proporcionaria um mercado maior, possibilitando, dessa forma, preços mais baixos ao usuário final. Trabalhos nesse sentido estão em progresso e alguns padrões já foram lançados no mercado.

O padrão industrial X10 foi desenvolvido em 1975, pela empresa Pico Electronics of Glenroths, com o objetivo de permitir o controle remoto de dispositivos domésticos a baixa velocidade (ENDO, 2006). Este padrão consiste na inserção de sinais na rede elétrica, utilizando uma frequência de 120 kHz. A transmissão ocorre na passagem por zero da onda senoidal, tanto no ciclo positivo quanto no negativo. Isto se justifica porque nesse instante o ruído e a interferência dos outros equipamentos conectados à rede são menores. Para minimizar a probabilidade de um ruído ser interpretado como um sinal "válido", cada bit é enviado com o seu complemento, ou seja, um bit "1" seguido do bit "0" e vice-versa. Essa técnica acaba por diminuir a taxa de transmissão. A limitação de velocidade deste padrão acabou restringindo a tecnologia ao controle de aplicações simples, como, por exemplo, iluminação e segurança (Vargas, 2004). Atualmente, ele é um padrão aberto e possui diversos módulos e interfaces comercializados por várias empresas (HERREIRA, 2006).

Outro padrão lançado no mercado, em 2001, pela HomePlug PowerLine Alliance, foi o HomePlug 1.0. Ele possui um protocolo de controle de acesso ao meio robusto, formado pela combinação de várias técnicas de modulação, processamento de sinais e correção de erros, visando minimizar as dificuldades enfrentadas pelo canal PLC. A técnica de modulação utilizada nesse padrão é a OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*), a mesma usada nos padrões de redes locais sem fio IEEE 802.11a e 802.11g. Ela se diferencia das demais porque consegue suprimir a banda de guarda entre os canais, fazendo um uso mais eficiente da banda de transmissão. O espectro total é dividido em várias sub-portadoras, que são ortogonais e mantêm uma relação matemática entre si, por isso elas conseguem se sobrepor sem a ocorrência de interferências. (PINHO, 2008).

O padrão HomePlug AV (HPAV) teve sua versão liberada em 2005. Ele oferece um serviço de alta qualidade, podendo atingir uma taxa útil de dados superior a 150Mbps e comporta um maior número de dispositivos, além da interoperabilidade com o padrão HomePlug 1.0. O HPAV utiliza tecnologias de camada física e MAC melhoradas para conseguir transmitir vídeo, áudio e dados pela rede PLC. A camada MAC suporta a técnica de múltiplo acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*) que provê garantia de QoS, incluindo garantia de reserva de banda, alta confiabilidade e controle de latência e variação de atraso (ENDO, 2006).

### 3. DIFICULDADES DO CANAL PLC

As linhas de energia não foram projetadas para entregar sinais de alta frequência, de forma que a resposta elétrica e em frequência da linha não é tão crítica quanto a da rede de dados cabeada. A baixa qualidade de uma linha de energia não é ideal para transmissão de sinal devido à imprevisibilidade do ruído e a interferência gerada por equipamentos como aspiradores de pó, liquidificadores, secadores de cabelo, etc. O freqüente ato de desligar e ligar tais equipamentos ao longo do dia faz com que as características da rede mudem constantemente (POWERLINE..., 2004). Um exemplo disso é a dificuldade de se calcular a potência de transmissão devido à constante variação da impedância, o que acaba por exigir mais do estágio de saída dos transmissores (FERREIRA, 2005).

O PLC, diferente de outras tecnologias, utiliza frequências que irradiam no ar e causam interferências a serviços licenciados, como o rádio amador, funcionando, assim, como poluidor do espectro de rádio, causando um aumento na quantidade de ruído nas áreas urbanas. (POWERLINE..., 2004)

Outro problema significativo enfrentado pela comunicação sobre a rede elétrica é a atenuação causada pelas longas distâncias percorridas pelo sinal. Quanto maior for essa distância, maior a atenuação, ou seja, ela é um fator limitante de transmissão de altas frequências. Outros fatores que geram a atenuação são as descontinuidades de impedância, causadas pelas emendas nos fios, interruptores e tomadas, e a variação de impedância das cargas. Cada equipamento, quando ligado a rede, possui uma impedância, e essa diferença de impedância entre os equipamentos gera um descasamento que implica na reflexão do sinal transmitido, contribuindo assim, com a perda de uma parte do sinal (FERREIRA, 2005).

Essas imperfeições do canal tornam a modulação do sinal sobre uma linha de energia uma tarefa difícil. Entretanto, os avanços na modulação de sinais e técnicas de codificação para controle de erros agora tornam a comunicação sobre a linha de energia viável.

A escolha do esquema de modulação para o sistema PLC leva em consideração alguns aspectos como, por exemplo, a presença de ruído e perturbações causando uma relativa baixa relação sinal-ruído (SNR). Tal solução deve ser robusta, de forma a confrontar as debilidades da tecnologia, bem como possuir flexibilidade para superar as dificuldades do canal.

Sendo assim, para lidar com a severidade dos canais de transmissão de energia, os sistemas PLC requerem técnicas de modulação robustas e eficientes, como métodos *spread-spectrum* (SS) e *multicarrier* (MC). O método *spread-spectrum* é um tipo de modulação que espalha os dados a serem transmitidos através de toda a banda de frequência disponível, excedendo a banda mínima necessária para o envio da informação. Nas linhas de energia, sistemas SS melhorariam a imunidade a ruído em sistemas de banda estreita. Eles possuem numerosas vantagens como robustez contra ruído não gaussiano, dificuldade de interceptação, diminuição da interferência por múltiplo trajeto usando recepção RAKE coerente, e supressão da interferência banda estreita (RIBEIRO, 2006).

Pesquisas recentes indicam que a combinação desses dois métodos proporcionam uma excelente performance com comunicações de múltiplos usuários e em ambientes hostis, representando, então, uma potencial solução para o sistema PLC (RIBEIRO, 2006).

#### 4. APLICAÇÕES RESIDENCIAIS

As redes domiciliares através da rede elétrica são uma alternativa de acesso, que tem como objetivo a interconexão de dispositivos domésticos restritos a uma área residencial, proporcionando um maior conforto e uma melhoria na qualidade de vida dos usuários. Elas possuem a grande vantagem de não precisarem de novos cabos para a comunicação. Prevêem-se aplicações de controle e monitoramento de eletrodomésticos, interconexão de computadores, aparelhagem de som e vídeo, telefonia (voz sobre IP) e compartilhamento de acesso a Internet em banda larga.

Exemplos de interconexão entre dispositivos domésticos podem ser observados nas seguintes situações: Um produto está sendo anunciado através de um serviço de TV digital e suas informações (código de barras, endereço da página na internet, etc.) são enviadas ao computador pela rede elétrica, assim o usuário poderia emitir uma ordem de compra para o fornecedor ou navegar no site em busca de mais informações a qualquer momento. Outra possibilidade seria gravar música através da rede elétrica. Uma música está sendo reproduzida na TV. Ela pode ser baixada diretamente para um tocador de mp3 e ser ouvida pelo usuário no momento que ele desejar (LIN, 2002).

Hoje o mercado está voltado para as aplicações de interconexão de computadores e acesso à Internet, enquanto para um futuro próximo espera-se poder atender a aplicações de vídeo (CAMPOS, 2007).

Uma questão fundamental para esse tipo de rede é a segurança, pois a rede elétrica de uma casa também é compartilhada por outras que estejam ligadas no mesmo transformador. Dessa forma, em uma casa é possível receber o tráfego de dados de outra. Para garantir a segurança, é feita uma rede lógica em cada casa, apesar delas participarem da mesma rede física (CAMPOS, 2007). O HomePlug utiliza o padrão de encriptação DES (*Data Encryption Standard*) de 56 bits. Este padrão constrói redes lógicas formadas por dispositivos que partilham a mesma chave de encriptação da rede (PINHO, 2008).

#### 5. SOLUÇÕES PROPOSTAS

Devido ao grande potencial de aplicações residenciais que podem se valer da tecnologia PLC para transmissão de dados, há um grande espaço para a utilização de dispositivos PLC neste tipo de ambiente. Contudo, o preço das soluções existentes no mercado ainda é um obstáculo para a popularização de seu uso no ambiente doméstico. A maior parte dos produtos existente visa um mercado que necessita de maiores taxas e desempenho. Várias aplicações residências não necessitam de taxas elevadas nem de um alto desempenho no que diz respeito à taxa de erro de bit. Neste sentido, interfaces de comunicação PLC que operem em baixas taxas de dados e que tenham um custo reduzido, seriam mais adequadas a estes tipos de aplicações. Neste trabalho, são propostos dois modems de baixo custo para comunicação PLC em aplicações residenciais de baixa velocidade. As soluções propostas são baseadas nas modulações ASK e FSK. Todo o projeto dos modems foi conduzido de maneira a reduzir o custo total da interface de comunicação. Também foi implementado um modem baseado no *chipset* ST7540. Este último modem, que se configura numa solução intermediária em termos de custo e desempenho, tem como objetivo servir de parâmetro de comparação para as soluções propostas. A seguir são descritos os modems desenvolvidos.

##### 5.1. Solução I - ST7540

A solução baseada no *chipset* ST7540 é composta pela interface de comunicação, o microcontrolador PIC16F84 da Microchip (MICROCHIP, 2002), o *chipset* ST7540 e a interface com a rede elétrica, como pode ser observado na Figura 1. A interface de comunicação interliga o modem PLC a qualquer outro dispositivo que possua a mesma interface. Ela é formada pela porta serial e o pelo circuito optoacoplador, que é responsável pela adaptação entre o nível de tensão usado no dispositivo que irá se comunicar com o Modem PLC e o nível de tensão do microcontrolador.

O chip ST7540 é a combinação de um transmissor e receptor, que realiza comunicações seriais *half-duplex*, utilizando modulação FSK, desenvolvido para aplicações de comunicação sobre a rede elétrica. Ele opera através de uma simples fonte e integra um *driver* de linha e dois reguladores lineares para 5V e 3,3V. A operação do dispositivo é controlada através de um registrador interno, programável através da interface

serial síncrona. Funções adicionais como *watchdog*, saída de *clock*, controle de corrente e tensão, *time-out* e banda em uso estão inclusas. (STMicroelectronics, 2006)

O bloco filtro passa-faixa está sintonizado na frequência da portadora e sua função é limitar o ruído proveniente da rede de alimentação.

O bloco de controle é composto por filtros e circuitos de realimentação que são ligados diretamente as entradas do amplificador interno do ST7540, que estão disponíveis externamente para permitir uma filtragem de rede em torno do amplificador. (STMicroelectronics, 2008)

A rede elétrica é um meio bastante ruidoso, por essa razão é recomendada a adição de alguns dispositivos de proteção específicos no caminho de acoplamento da mesma, de forma a prevenir que perturbações de alta energia danifiquem o circuito interno do ST7540. O circuito de proteção possui uma espécie de diodo zener bidirecional que reduz qualquer voltagem diferencial maior que 6,8V. Esse diodo é a proteção mais robusta e capaz de absorver maior parte da energia de qualquer perturbação. (STMicroelectronics, 2008)

A estrutura específica do circuito de acoplamento da aplicação é um ponto importante porque está vulnerável às perturbações de alta voltagem que possam vir do ambiente externo. Um circuito de acoplamento eficiente com baixa inserção de perdas permite um caminho de impedância muito baixa da corrente para a interface do dispositivo (STMicroelectronics, 2008).

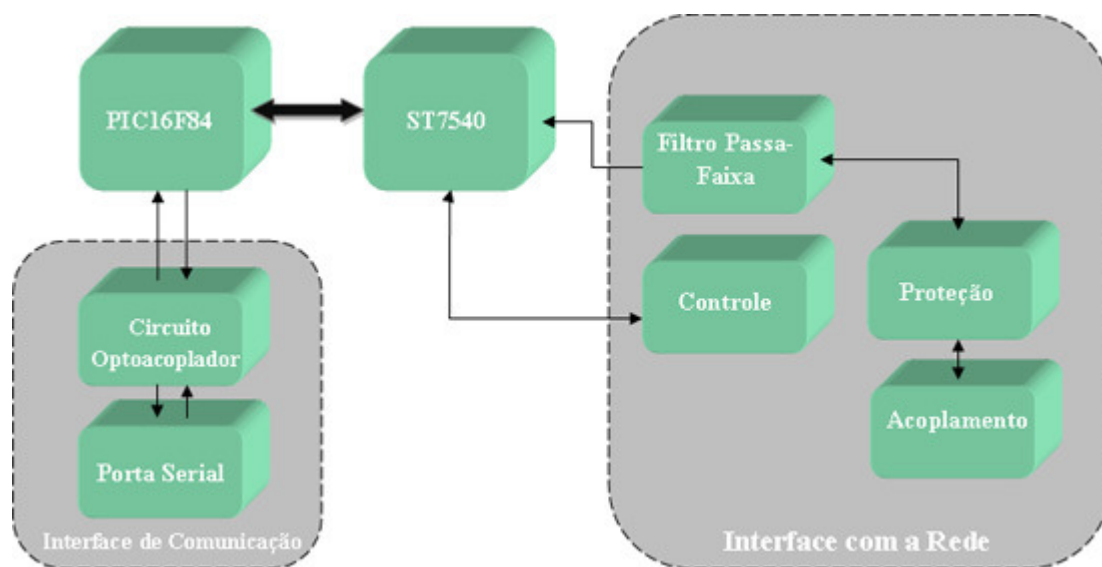


Figura 1 – Diagrama de blocos do modem baseado no chipset ST7540.

## 5.2. Solução II – ASK

A solução baseada na modulação ASK é composta de duas partes: circuito de modulação e circuito de demodulação, como pode ser observado na Figura 2. A parte de modulação é composta por um gerador controlado de portadora, um amplificador de potência e um filtro de saída. O gerador controlado de portadora é gerenciado pelo microcontrolador que aciona e desliga a portadora para a transmissão dos bits '1' e '0' respectivamente. O sinal proveniente do gerador de portadora chaveia um transistor *darlington* que fornece a corrente necessária para o sinal ser injetado na rede elétrica. O filtro de saída elimina os lóbulos laterais do sinal modulado, limitando a banda ocupada pelo mesmo.

A parte de demodulação é composta por um detector de envoltória que retifica o sinal ASK. Em seguida, o filtro passa-baixa elimina o componente pulsante do sinal entregue pelo detector de envoltória, recuperando o nível médio. O circuito de decisão compara o nível médio presente na saída do filtro passa-baixa com uma tensão de referência, V2. Se o nível médio estiver acima do valor de referência, o circuito de decisão coloca nível alto tem sua saída. Caso o sinal na entrada do circuito de decisão esteja abaixo da tensão de referência V1, a saída estará em nível baixo. O uso de duas tensões de referências, V1 e V2, ajuda a reduzir os erros

causados por sinais contendo ruídos. Se o ruído no sinal ASK for menor do que a metade do valor de pico-a-pico do sinal, não haverá erro na decisão (FARIAS, 2008).

O circuito de acoplamento é uma parte decisiva para o funcionamento da interface PLC. Ele é responsável pela interface entre a rede elétrica e os circuitos de recepção e transmissão dos sinais. Normalmente, o circuito de acoplamento é composto por um transformador em conjunto com capacitores que formam uma estrutura de filtragem sintonizada na frequência da portadora do sinal PLC, evitando, assim, o sinal de tensão de 60Hz presente na rede elétrica. No entanto, os transformadores usados para este propósito possuem um custo significativo. Nesta solução, foi aplicado um acoplamento capacitivo que possui alta impedância para o sinal de 60Hz e baixa impedância para o sinal PLC. O acoplamento capacitivo não apresenta o mesmo desempenho em termos de casamento de impedância que o acoplamento feito por transformadores. Outra desvantagem diz respeito à falta de isolamento galvânico do acoplamento capacitivo. Apesar destas desvantagens, o seu uso é justificado pela diferença de custo entre as soluções. O circuito de acoplamento capacitivo custa apenas R\$0,10 enquanto que o acoplamento por transformador custa acima de R\$10,00.

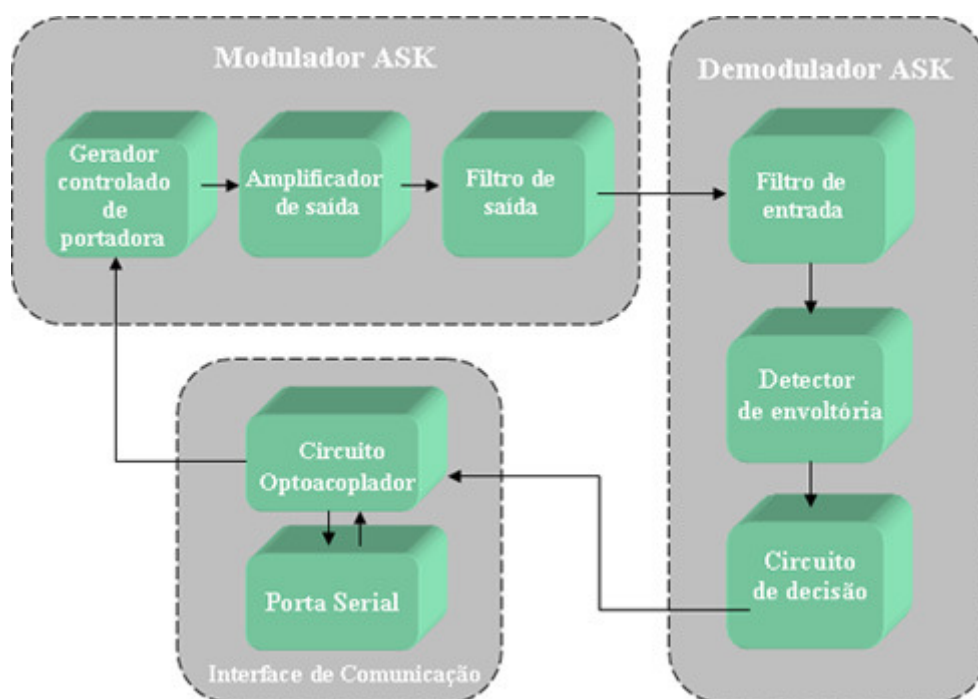


Figura 2 – Diagrama de blocos do modem ASK.

### 5.3. Solução III – FSK

O modem FSK é composto de duas partes: circuito modulador e circuito demodulador, como pode ser observado na Figura 3. O circuito modulador é formado por um gerador controlado de portadora, um amplificador de saída e o filtro de saída. A geração da portadora é realizada pelo microcontrolador que produz uma onda quadrada com frequência que pode ser f1 '115kHz' ou f2 '122kHz' de acordo com o bit transmitido, '0' ou '1' respectivamente. A mudança da frequência sempre ocorre na transição positiva da onda quadrada de maneira a reduzir os lóbulos laterais. O sinal do gerador de portadora excita um transistor *darlington* que fornece a corrente necessária para a transmissão do sinal pela rede elétrica. O filtro de saída é responsável pela atenuação dos lóbulos laterais do sinal modulado.

O circuito de demodulação é formado por um filtro de entrada, o qual é sintonizado na frequência da portadora e tem a função de reduzir a quantidade de ruído na entrada dos filtros subsequentes. Dois filtros passa-faixas sintonizados nas frequências f1 e f2, respectivamente, em conjunto com o detector de envoltória identificam a transmissão do bit '0' ou '1'. O circuito de decisão compara os níveis de tensão na saída dos detectores de envoltória. Desta forma, se a tensão do detector de envoltória ligado ao filtro

sintonizado em f1 for maior do que a tensão do outro detector de envoltória, então é considerado que o bit '0' foi transmitido.

O modem FSK utiliza o mesmo circuito de acoplamento empregado no modem ASK.

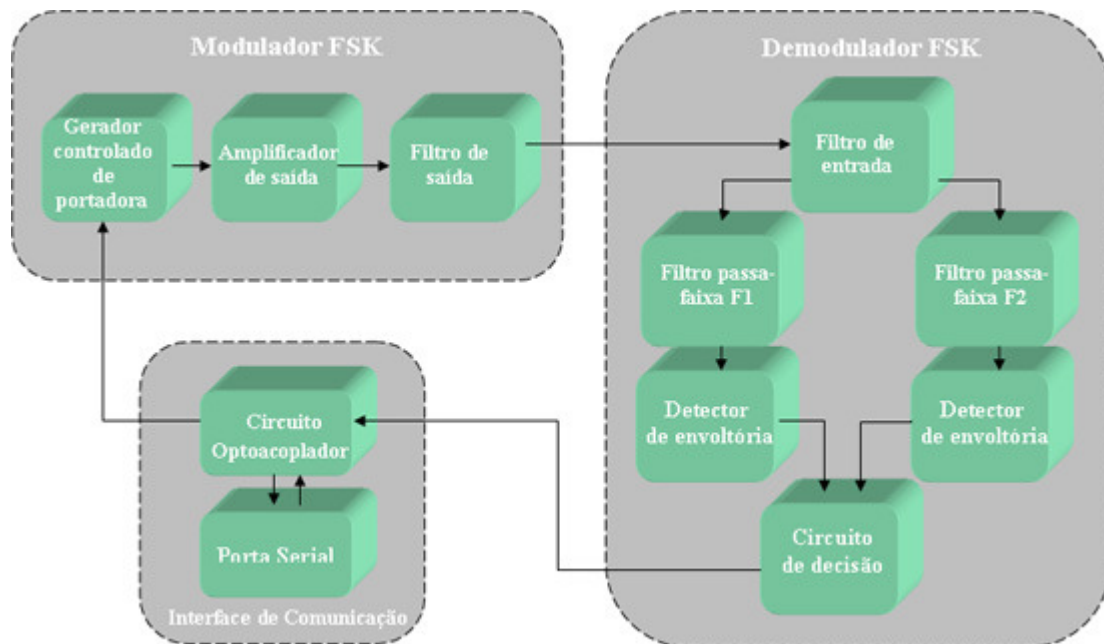
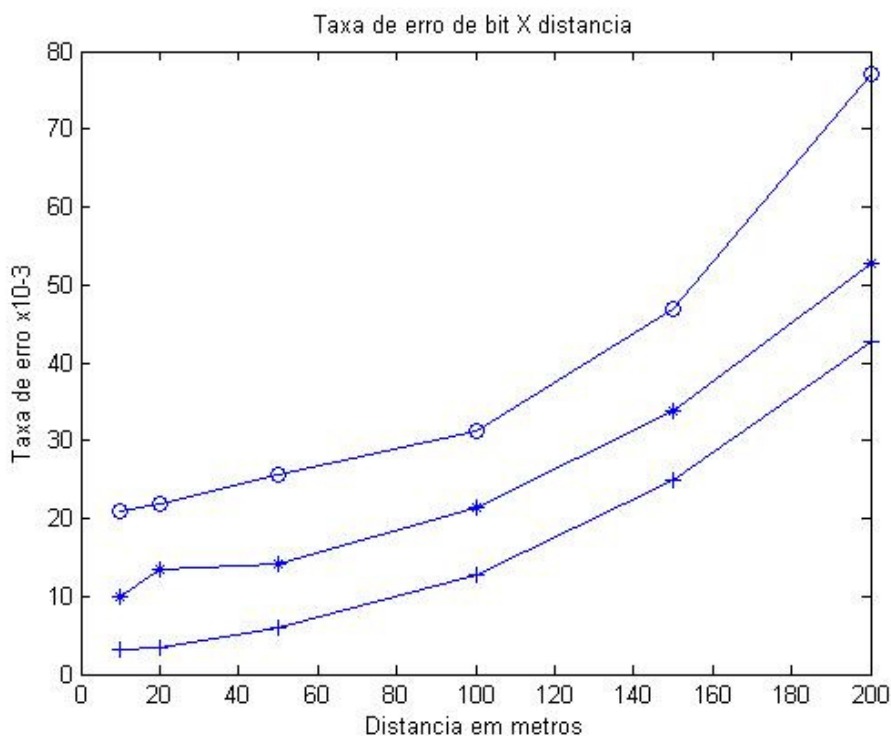


Figura 3 – Diagrama de blocos do modem baseado no chipset ST7540.

## 6. AVALIAÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A avaliação dos protótipos desenvolvidos foi feita através da medição da taxa de erro de bits após transmissão de dados por meio de um canal PLC com características residenciais. Para realizar a medição da taxa de erro de bit foi transmitida uma sequência de um milhão de bytes. Na recepção, os bytes recebidos foram armazenados e posteriormente comparados com a sequência transmitida. Desta forma, a taxa de erro de bit foi calculada através da relação entre o número de bits errados e o número de bits recebidos. Os dados foram transmitidos a uma taxa de 4800 bits por segundo. A mesma sequência foi transmitida usando-se os três protótipos, um de cada vez. A taxa de erro de bit foi medida usando-se seis distâncias entre transmissor e receptor: 10, 20, 30, 50, 100, 150 e 200 metros. Durante a transmissão, foram ligados na rede elétrica equipamentos, tais como motor universal, lâmpadas fluorescentes e computadores, de maneira a produzir um cenário próximo do encontrado em residências. Os resultados obtidos são mostrados no gráfico da Figura 4. A linha marcada com 'o' representa a taxa de erro de bit do modem ASK, a linha marcada com '\*' a do modem FSK e a linha marcada com '+' a do modem baseado no chip ST7540.





**Figura 4: Taxa de erro de bit em função da distância.**

Como esperado, o desempenho do modem FSK é superior ao do modem ASK. Como é conhecido na literatura, a modulação em frequência é mais robusta à presença de ruído do que a modulação em amplitude. A solução desenvolvida com o *chipset* ST7540 apresenta os melhores resultados. Este resultado também era esperado, uma vez que o referido *chipset* aplica um filtro digital na entrada do sinal, de maneira a diminuir o ruído captado. Além disto, a demodulação é feita de forma coerente, o que produz desempenho melhor do que a demodulação não coerente aplicada na solução III.

O aumento da taxa de erro de bit à medida que a distância entre transmissor e receptor aumenta deve-se, basicamente, a dois fatores: atenuação do sinal em função da distância e aumento do ruído impulsivo. O primeiro fator pode ser contornado aumentando-se a potência de transmissão do sinal, contudo há uma limitação para isto. A potência de transmissão do sinal PLC não pode ficar acima de certos valores, caso contrário poderá haver interferência em outros sistemas. O ruído impulsivo, quando ocorre na mesma banda de frequência do sinal PLC, não pode ser eliminado, contudo seus efeitos podem ser combatidos aplicando-se codificação de canal nos dados transmitidos. Neste trabalho não foi realizada nenhuma codificação de canal sobre os dados.

## 7. CONCLUSÃO

O trabalho abordou as tecnologias relativas às comunicações através das linhas de energia, apresentou vantagens e desvantagens em relação às possíveis concorrentes e introduziu alguns padrões existentes que regem a área. Mostrou-se ainda as dificuldades sofridas relativas ao meio utilizado e foram exemplificados possíveis cenários de uso em ambientes domiciliares. Por fim, apresentou-se as soluções propostas no intuito de viabilizar a construção de equipamentos de uso indoor, de baixo custo e com desempenho satisfatório, comparações foram realizadas a fim de identificar a opção que melhor se adéqua ao escopo do projeto. Pôde ser observado, então, que a solução baseada no *chipset* ST7540 apresentou melhor desempenho, se considerada sua menor taxa de erro de bit em função da distância entre os terminais. Dentre as soluções de baixo custo apresentadas, a que utilizou modulação FSK se sobrepõe àquela que utiliza ASK em relação ao desempenho. Logo, a primeira a solução servirá de ponto norteador para versões futuras do modem PLC, onde poderão, ainda, serem utilizadas técnicas de codificação para controlar possíveis erros.



## REFERÊNCIAS

CAMPOS, Antonio Luiz Pereira de Siqueira et al. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Análise da Influência de Redes PLC na Qualidade da Energia Elétrica**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa. Anais do II Connepi, 2007.

ENDO, Patrícia Takako; GONÇALVES, Paulo André da S. **Tecnologias de Comunicação para Redes Domiciliares**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

FARIAS, Irene Silva. **Princípios de Comunicação II**. 2007. Disponível em:  
<<http://professores.unisanta.br/isfarias/Materia/Principios%20de%20Comunicacao%20II/modigital.pdf>>.  
Acesso em: 16 jul. 2008.

FERREIRA, Marcus Vinicius de Almeida. **PLC: Power Line Communication**. Departamento de Telecomunicações. Niterói: Universidade Federal Fluminense (UFF), 2005.

HERREIRA, Bruno Rafael A. **Utilização da Tecnologia Power Line Communication (PLC) e o Protocolo de Comunicação X10 como Solução Para Automação Residencial**. 2006.

LIN, Y.-J. et al. **A power line communication network infrastructure for the smart home**. IEEE Wireless Communications, vol. 9, n. 6, p. 104-111, dez 2002.

MICROCHIP. **PIC16F8X Datasheet**. 2002. Disponível em:  
<<http://www.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30430c.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2008.

MOROSI, S. et al. **Comparison of CDMA and OFDM techniques for downstream power-line communications on low voltage grids**. In: IEEE Trans on Power Delivery, vol. 18, n. 4, p. 1104-1109, 2003.

PINHO, Hélder Alexandre Soares de Pinho. **Power Line Communications - HomePlug**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2008.

**POWERLINE communications**: Electrifying the broadband. PC Magazine Middle & Near East, mensal, abr. 2004.

RIBEIRO, Moisés Vidal. **Power Line Communications: A Promising Communication Systems Paradigm for Last Miles and Last Meters Applications**. In: Telecommunications: Advances and Trends in Transmission, Networking and Applications, 2006, p. 133-156.

STMicroelectronics. **Application note AN2451 - ST7540 FSK powerline transceiver design guide for AMR**. 2008. Disponível em: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/an/12791.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2008.

\_\_\_\_\_. **FSK power line transceiver ST7540 Datasheet**. 2006. Disponível em:  
<<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/12176.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2008.

VARGAS, Alessandra Antunes. **Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial**. Porto alegre, 2004. Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Computação, 65p.