

ANALISE SOBRE A TECNOLOGIA PLC (POWER LINE COMMUNICATION)

ANALYSIS ON TECHNOLOGY PLC (POWER LINE COMMUNICATION)

André Umberto Faccioni

SENAI/SC – Florianópolis, E-mail: andreumberto@yahoo.com.br

Lucas Marcon Trichez¹

SENAI/SC – Florianópolis, E-mail: lucasm@sc.senai.br

Ronaldo Lopes Macedo²

SENAI/SC – Florianópolis, E-mail: ronaldo@sc.senai.br

Resumo. Este artigo tem o intuito de apresentar uma análise sobre a tecnologia que emprega a comunicação de dados que utiliza a rede elétrica como meio de transmissão chamada de Power Line Communication (PLC). Esta tecnologia é utilizada desde 1920 por muitas companhias de energia elétrica para efetuar telemedição e telecomando de equipamentos em subestações. Atualmente com novas técnicas de modulação e barateamento de sistemas de telecomunicações, se torna possível a aplicação em massa desta tecnologia para ser implantada em sistemas de telemetria, automação e até mesmo disponibilizar o acesso a internet banda larga para usuários finais. Portanto, este artigo irá abordar algumas aplicações da tecnologia PLC no Brasil, alguns aspectos regulatórios sobre esta nova tecnologia e destaca o projeto em desenvolvimento na pré-incubadora do SENAI/SC-Florianópolis.

Palavras-chave: Power Line Communication (PLC); Powerline; Comunicação de dados.

Abstract. This article aims at presenting an analysis of a technology, called Power Line Communication (PLC), which utilizes the communication of data using the power grid as a means of transmission. This technology is used by many electric power companies since 1920 to perform remote measures and remote control of equipment in substations. Currently with new techniques of modulation and low-cost telecommunications systems, it is possible to apply this technology in mass to be deployed in telemetry systems, automation and even provide access to broadband Internet to end users. Therefore, this article will address some applications of PLC technology in Brazil, some regulatory aspects of this new technology and highlights the project under development in the pre-incubator of SENAI/SC-Florianópolis.

Key-words: Power Line Communication (PLC); Powerline; Data Communication.

1 INTRODUÇÃO

Existem registros de transmissão de comandos utilizando a tecnologia Power Line Communication (PLC) desde 1838, com a primeira patente sendo registrada em 1897. A partir

¹ Orientador de Trabalho de Conclusão de Curso do autor sobre a temática.

² Orientador do projeto de pré-incubadora do SENAI/SC – Florianópolis que contou com o apoio do Programa SENAI/Inovação (Pró-pesquisa).

de 1913 a tecnologia tornou-se comercial (RIBEIRO, 2007). Inicialmente era chamada de Power Line Carrier e muito usada em redes de alta tensão de 69KV a 500KV pelas concessionárias de energia elétrica para comunicação de voz e dados entre as subestações. Era de baixa velocidade e não ultrapassava os 9,6Kbps, operando na faixa de frequência de 30 a 400 KHz.

Ao longo dos anos novas pesquisas foram realizadas e outras técnicas utilizadas. Na década de 80 as comunicações de PLC operavam em até 144Kbps, e com frequências de até 500 KHz. Na década de 90 a tecnologia teve um avanço bastante significativo atingindo a 10Mbps. No início deste século chegou-se aos 45Mbps, operando agora com frequências bem mais elevadas de até 30MHz. Atualmente o PLC possui taxas de transferência de até 224Mbps. Mas estas velocidades são de picos, considerando ambientes ideais de transmissão. Estas taxas de transmissão podem cair muito dependendo do ambiente em que esteja operando. Isto ocorre, pois os sistemas de distribuição de energia elétrica não foram projetados para serem utilizados como canais de comunicação.

As redes elétricas são muito suscetíveis a ruídos, um simples interruptor de uma lâmpada gera ruídos nos sistemas. É possível observar nitidamente estes ruídos quando estamos assistindo televisão e alguma pessoa liga um liquidificador na mesma rede, a imagem no televisor fica ligeiramente distorcida. Existem inúmeras fontes que podem gerar estes ruídos, algumas com menos e outras com mais intensidade. Podemos citar alguns exemplos: batedeira, reator eletrônico de lâmpadas fluorescentes, inversores de frequência, motores elétricos, fontes chaveadas etc. Estes ruídos são extremamente prejudiciais para a propagação dos sinais de PLC. Para contornar este problema, muitas técnicas foram desenvolvidas e continuam sendo melhoradas, como: técnicas de modulação, protocolos de comunicação e filtros, são amplamente utilizados para garantir a irradiação do PLC nas redes elétricas.

O PLC opera com frequências bastante altas e estas frequências sobrepostas a um condutor elétrico são capazes de gerar sinais de *Radio Frequência*, podendo ocasionar interferência em outros equipamentos eletrônicos de radio comunicação. Devido a estes e outros problemas o Brasil ainda não possui uma regulamentação para a tecnologia PLC. Existem estudos e projetos pilotos no país analisando a realidade brasileira, para adotar um padrão e definitivamente regulamentar as transmissões de dados pela rede elétrica.

Para contribuir com os estudos da tecnologia PLC, apresentamos parte dos estudos e ensaios realizados na pré-incubadora do SENAI/Florianópolis, onde o autor deste artigo possui uma empresa pré-incubada chamada PLC-Control que tem como objetivo, desenvolver uma solução para telemedição e controle de unidades consumidoras de energia elétrica, uma solução que é capaz de automatizar o processo de leitura dos medidores, agilizando e reduzindo custos operacionais para as concessionárias de energia elétrica.

As pesquisas realizadas consistiram em apresentar uma análise sobre qual o tipo de modulação é mais apropriado para pequenas taxas de transmissão de dados pela rede elétrica.

O principal motivo em realizar esta pesquisa consiste em obter resultados eficazes de análise da modulação FSK, obtendo conclusões sobre a eficiência desta técnica de modulação. Estes resultados irão auxiliar na escolha da melhor forma de modulação de transmissão de dados pela rede elétrica, para ser empregada ao projeto PLC-Control desenvolvido na pré-incubadora do SENAI/Florianópolis.

2 POWER LINE COMMUNICATION (PLC)

PLC é um sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de comunicação. Quando os cabos elétricos são usados como meio de transmissão, a instalação elétrica domiciliar comporta-se como uma rede de dados onde cada tomada elétrica é um ponto de conexão à rede. Inúmeras aplicações podem ser utilizadas com a tecnologia PLC: telefonia, automação de dispositivos residenciais ou industriais e telemedição de água, gás e energia elétrica. Mas o mercado que está se destacando hoje com a tecnologia PLC é o acesso à internet de banda larga (JATOBÁ, 2007).

2.1 PLC ATUALMENTE

Estudos e projetos abrangentes estão sendo desenvolvidos com a tecnologia PLC na atualidade. Um deles é o Open PLC European Research Alliance (OPERA), cujo objetivo consiste em desenvolver procedimentos de aplicação da tecnologia PLC que possam vir a ser uma alternativa de acesso a internet banda larga onde todos os usuários finais possam ser alcançados (VIEIRA, 2007).

O projeto OPERA tem uma duração estimada de 48 meses e foi dividido em duas fases de 24 meses. A primeira iniciou em 2004 e teve sua finalização em abril de 2006. A segunda fase começou em janeiro de 2007 com previsão de conclusão no final de 2008. Este projeto possui 26 parceiros integrados, incluindo 11 países, buscando alcançar um padrão comum para a tecnologia PLC.

2.2 PLC NO BRASIL

Levar internet de banda larga até residências ou empresas talvez seja o principal foco das empresas que estão realizando pesquisas sobre a tecnologia PLC, ou então, é o que pode trazer mais retorno financeiro para as companhias de energia elétrica e provedores de internet.

O principal problema para disseminar a internet hoje no Brasil é chamado de a última milha. Até determinado ponto dos bairros já existe um ponto de fibra ótica, mas o problema consiste em levar este sinal até as residências. Para isso é preciso utilizar algum meio de comunicação: os mais conhecidos são xDSL e cable modem. Segundo Ribeiro (2007), estes meios de transmissão alcançam menos de 15% da população. Para aumentar este valor, é preciso que as operadoras de TV a cabo e telefonia façam um planejamento e um investimento bastante elevado para estruturar suas redes.

O sistema da rede elétrica no Brasil atinge aproximadamente 98% da população (RIBEIRO, 2007). Isto significa que a estrutura de rede para distribuir internet banda larga utilizando a tecnologia PLC já está praticamente pronta.

O Brasil possui alguns projetos pilotos que estão sendo analisados e merecem destaque, como Projeto Piloto Barreirinhas no Maranhão e Projeto Vila Digital da Restinga, em Porto Alegre, no Rio Grande do Sul.

a) Projeto Barreirinhas

Projeto situado na cidade de Barreirinhas, no Maranhão, tem como objetivo auxiliar na inclusão digital e promover testes com a tecnologia PLC no Brasil. Teve início no ano de 2005 transmitindo sinais de telecomunicações em alta velocidade na rede elétrica de média e baixa tensão. Conta com o apoio da CEMAR, Eletropaulo, APTEL, Ministério das Comunicações e do SEBRAE.

A rede foi instalada utilizando totalmente a estrutura de rede elétrica existente. E o acesso à internet para a comunidade chega através de antena do programa Governo Eletrônico Serviço de Atendimento ao Cidadão (GESAC).

Com auxílio das antenas do programa GESAC a cidade recebe o sinal de internet via satélite e através da rede elétrica de baixa e média tensão, é distribuída. Inicialmente os pontos de acesso eram apenas para escolas, prefeitura e associações, mas hoje conta com mais de 150 usuários conectados à rede (OLIVEIRA, 2007).

b) Projeto Piloto PLC Restinga

Este projeto tem o objetivo de avaliar a infra-estrutura da rede elétrica para acesso à internet e serviços de telemetria e telecomando. Ele é desenvolvido em parceria com a prefeitura de Porto Alegre (RS), com o CETA-SENAI, Procempa e UFRGS, além de contar como apoio técnico da CEEE. O projeto está operando em uma rede de média tensão (13,8KVA), com distância aproximada de 3,5 km, levando internet à comunidade carente do bairro Restinga em Porto Alegre (SILVA, 2008).

Atualmente, o projeto encontra-se na fase de estudos, análises e documentação, onde o grupo de trabalho está voltado ao levantamento de dados, das características e comportamento do meio físico de comunicação do sistema (SILVA, 2008).

2.3 PADRONIZAÇÃO DO PLC

Na Europa as comunicações PLC seguem as normas especificadas pela CENELEC EN 50065, que autoriza a utilização do espectro de frequência que varia de 9 a 140 KHz (tabela 1). Esta norma difere do padrão Americano e Japonês, que especificam uma gama de frequência de até 500 KHz para serviços PLC.

Tabela 1 Bandas de utilização do PLC na Europa.

Band	Frequency range (KHz)	Max. Transmission amplitude(V)	User
A	9-95	10	Utilities
B	95-125	1,2	Home
C	125-140	1,2	Home

Fonte: SGS Thomson (1995)

A normalização Européia CENELEC para PLC torna padrão à transmissão de dados chamada de Narrowband (Banda estreita) muito utilizada para sistemas de comando a distancia, telemedição, controle de demanda etc. Portanto, a padronização CENELEC é estabelecida para baixas taxas de transmissão de dados (HAYKIN, 2004).

Para sistemas que utilizam taxas maiores de transmissão como, por exemplo, internet, que utiliza faixas de espectro de até 30MHz, a CENELEC não possui ainda especificações para estas taxas de frequências (HAYKIN, 2004).

Atualmente existem várias entidades que tentam conduzir o caminho para a padronização do PLC para redes de banda larga, tais como as seguintes:

- a) PLCforum; é uma organização internacional com o objetivo de unificar e representar os interesses das entidades envolvidas com PLC em todo o mundo.

Atualmente há mais de 50 membros no PLCforum como fabricantes de equipamentos, empresas de telecomunicações, prestadores de serviços etc.

b) A HomePlug Powerline Alliance (HomePlug); é um grupo sem fins lucrativos formada para a criação de especificações destinadas a PLC.

2.3.1 Padronização PLC no Brasil

O Brasil como já mencionado anteriormente não possui regulamentação sobre PLC, mas começa a discutir sobre o assunto. Em 28/06/2006, foi publicado no Diário Oficial da União o processo n.º 48500.003882/2005-57 que torna público o processo de licitação a contratação de serviços de consultoria para o levantamento dos aspectos técnicos e legais relacionados à tecnologia PLC – Power Line Communication no Brasil (ANEEL, [2006]).

A Agência Nacional de Energia Elétrica tornou público que, após avaliação dos documentos de habilitação apresentados na tomada de preços, foi considerada habilitada a licitante FADEPE – Fundação de Apoio e Desenvolvimento ao Ensino Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF (ANEEL, [2006]).

“Até o momento a ANEEL não divulgou publicamente os resultados sobre esta licitação”.

2.3.2 Modulação

Um sistema de comunicação tem como objetivo entregar uma informação para um destinatário final, seja qual for a distância entre a fonte e o receptor. Para que a mensagem seja entregue, é necessário que o transmissor a modifique de forma que seja possível transmiti-la por um canal de comunicação. A modificação é realizada por um processo chamado de modulação, que consiste em variar o parâmetro de uma onda portadora de acordo como sinal de mensagem. O receptor recria a mensagem original a partir da onda portadora do sinal modulado que se propagou através do canal de comunicação (HAYKIN, 2004).

Para a recriação da informação junto ao receptor dá-se o nome de demodulação, é o processo inverso da modulação. Todos os meios de comunicação possuem algum tipo de perturbação no processo de transmissão pelo canal, estas perturbações têm ocorrência devido a ruídos ou distorções da informação que dependendo da intensidade provocam falhas no processo de reconstituição da informação (demodulação).

Existem dois tipos de modulação: modulação de onda contínua e modulação por pulso. Na modulação de onda contínua, uma onda senoidal é utilizada como portadora. De forma que a amplitude da onda portadora é variada conforme a mensagem e temos então uma modulação de amplitude (AM). Quando o ângulo da onda portadora é alterado, temos uma modulação angular. É possível classificar a modulação de onda contínua por modulação de frequência (FM) e modulação de fase (PM), na qual a frequência e fase instantâneas da portadora são variadas de acordo com o sinal da mensagem (HAYKIN, 2004).

A partir das pesquisas realizadas, foi possível observar qual das técnicas de modulação esta sendo mais utilizada atualmente. Com a possibilidade de transmissão de até 224 Mb/s encontramos a modulação Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), muito utilizada para acesso a internet e telefonia IP. Este método de modulação de sinais OFDM atua da seguinte maneira: ao invés de combater o ruído em linhas elétricas, ele deixa os sinais viajarem ao redor do ruído.

É uma técnica de modulação onde existe um número amplo de frequência sub-portadoras, as quais são transmitidas simultaneamente. Estas sub-portadoras são sobrepostas em diferentes ângulos de fase (ortogonalmente espaçadas), a fim de carregarem um número mais amplo de

freqüências numa área o menor possível. Uma quantidade menor de dados é transmitida em cada sub-portadora, porém a soma total é consideravelmente alta e proporciona uso eficiente do espectro.

Este tipo de modulação oferece grande adaptabilidade ao sistema, pois é possível suprimir portadoras interferentes ou interferidas ou variar o carregamento (número de bits) de cada portadora de acordo com a relação sinal/ruído ou atenuação do enlace. Este sistema necessita de amplificadores altamente lineares sob pena de harmônicas das portadoras provocarem interferências (CORRÊA, 2004).

2.3.3 Modulação FSK

A modulação por chaveamento de freqüência (FSK) apresenta como principal características a boa imunidade a ruídos, quando comparada com a modulação por chaveamento de amplitude (ASK). A modulação FSK é bastante utilizada em modems de baixa velocidade.

A transmissão de dados é feita variando a freqüência de uma onda portadora contínua entre dois valores distintos. Normalmente por convenção o valor mais baixo de freqüência, corresponde ao nível lógico zero e o outro valor corresponde ao nível lógico um (PINHO 2005), conforme ilustrado na figura abaixo:

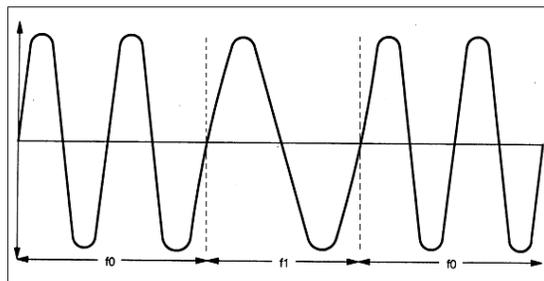


Figura 1 Representação gráfica da modulação FSK.

Fonte: Haykin (2004)

2.3.4 Modem PLC-24

Para auxiliar no desenvolvimento do projeto foi adquirido um kit de desenvolvimento do modem ST7537 fabricado pela empresa sueca chamada High Tech Horizon (PLM-24). Nele é implementado toda a arquitetura básica para atuar com o CI ST7537. Existe somente a necessidade de desenvolver o sistema de acoplamento a rede elétrica e a implementação do microcontrolador, que não vem acoplado ao kit. (HIGH TECH HORIZON, 2008).

O PLM-24 é projetado em um pequeno módulo (54 x 38 mm). Pode-se facilmente implementar uma interface com PC ou microcontrolador que possa enviar e receber dados serialmente entre 110 a 2400 bps através da comunicação serial. Segundo o fabricante HTH, as principais características do Kit são apresentadas a seguir:

- a) Enviar e receber a 110-2400 bps, meio-duplex através da rede elétrica;
- b) PLM-24 é 40 vezes mais rápido do que X-10;
- c) Funciona a tensões de 230 VAC/50, 60 Hz, 110 VAC/50 ou 60 Hz;
- d) PLM-24 é independente do protocolo;

- e) Utiliza FSK (mais imune ao ruído e a outros sinais de interferência do que ASK);
- f) Pode coexistir com equipamento X-10 e não faz disparo falso.
- g) Módulo pequeno, PCB 54 x 38 mm;
- h) Interface serial simples para um microcontrolador ou PC;
- i) Fácil de montar e utilizar;
- j) Incluída função watch dog;
- k) Detecção da portadora;
- l) Compatível com especificações CENELEC EN 50065-1 (UE) e FCC (EUA);

O CI ST7537 possui em seu chip interno praticamente todos os blocos funcionais necessários para a transmissão e recepção de dados através da rede elétrica. Apenas dois componentes críticos são exigidos externamente para se fazer uma comunicação: um microcontrolador para efetuar o controle das informações a serem transmitidas e recebidas; e um transformador para acoplá-lo à rede elétrica.

A comunicação entre os módulos ST7537 ocorre conforme mencionado anteriormente utilizando a modulação FSK. Internamente ao modem as frequências são modificadas para distinguir a informação binária “1” ou “0”. A informação binária é representada pela alteração da frequência para representar o bit “1”, já o modem modula um sinal na faixa de 131,85KHz e, para representar o bit “0”, a frequência fica em 133,05KHz, Os modems ST7537 são sempre sincronizados por um cristal externo de 11.0592MHz.

2.3.5 Microcontrolador AT89C4051

O microcontrolador da ATmel AT89C4051 foi escolhido por seu baixo custo, e por atender a todas as necessidades do projeto.

Os principais dados que merecem destaque do microcontrolador são apresentadas a seguir: (ATMEL CORPORATION).

- a) CPU CMOS de 8 Bits;
- b) Compatível com o set de instruções MCS-51;
- c) 2K Bytes de memória de programa Flash;
- d) Aproximadamente 1000 ciclos de gravação na memória Flash;
- e) Range de tensão de operação 2,6V até 6V;
- f) 128 Bytes de memória RAM interna;
- g) 15 portas de I/O;
- h) 6 fontes de interrupção;
- i) Canal serial UART;
- j) Conexão direta de LEDs nas portas;

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada utilizou dos seguintes procedimentos:

- a) **Levantamento de material bibliográfico:** Pesquisa de materiais que já foram publicados sobre os assuntos abordados.
- b) **Desenvolvimento de um protótipo:** Desenvolvimento de um protótipo que seja capaz de transmitir dados na rede elétrica.

- c) **Desenvolvimento de um *firmware*:** Elaboração de um programa para efetuar o controle dos sinais digitais a serem transmitidos e recebidos na rede elétrica.
- d) **Testes:** Elaboração de inúmeros testes com o protótipo desenvolvido.
- e) **Análise:** Análise dos resultados dos testes e obter conclusões.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para desenvolver as análises propostas foi desenvolvida pequena rede de comunicação entre dois modems PLC. A arquitetura da Rede PLC pode ser observada na figura a seguir:

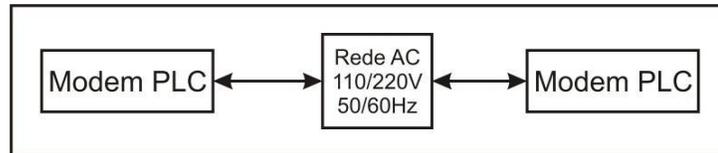


Figura 2 Arquitetura da Rede PLC

Para tornar possível a implementação desta rede foi necessário desenvolver um hardware que efetuasse o controle dos dados a serem enviados e recebidos pelo modem PLM-24. A arquitetura básica do Modem PLC pode ser observada na figura a seguir:

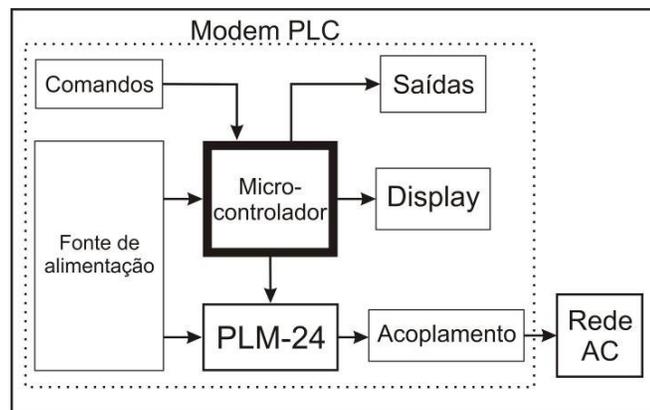


Figura 3 Arquitetura do Modem PLC

a) Comandos

O sistema projetado foi definido para transmitir pela rede elétrica a quantidade de 10 comandos pré-definidos. Estes comandos têm a função de enviar um pacote de dados para o outro modem PLC conectado à mesma rede. O modem que irá receber estas informações tem a capacidade de processar os dados e comandar as saídas do microcontrolador.

b) Display

Para visualizar qual comando será escolhido foi implementado um display de sete segmentos que mostra os comandos de 0 até 9.

Através de quatro bits do microcontrolador utilizando o circuito integrado HEF4511 e um display de sete segmentos foi possível implementar uma interface visual para o usuário dos comando selecionados.

c) Saídas

Além de uma interface serial UART, o circuito implementado possui duas saídas digitais. Estas duas saídas são constituídas de um led cada uma para visualizar o atual status delas,

caso ativado ou não. Podemos observar na figura a baixo que existe também um transistor BC558, para ativar um relê de dois contatos, um normalmente aberto e outro, normalmente fechado.

d) Fonte de Alimentação

Para a maior parte do circuito implementado a tensão de alimentação é de 5V, mas o modem PLM-24, além dos 5V, ele exige a alimentação de 10V para efetuar a modulação dos sinais na rede elétrica. Atendendo a estas necessidades foi decidido que seria utilizada uma fonte externa de 12V e que, internamente ao circuito do modem PLC, seria regulado os valores de tensão necessários utilizando um regulador de tensão LM7810 e um LM7805 para estabilizar as tensões nos valores de 10V e 5V, respectivamente.

e) Acoplamento

Para que os dados possam ser transmitidos na rede elétrica com segurança é necessário que exista um circuito de acoplamento de sinais entre o Modem e a Rede Elétrica. Esta parte é constituída de um transformador cuja relação de enrolamento é de (4:1:1) voltas. Este transformador é fornecido junto com o Kit do PLM-24 e pode ser encontrado com o seguinte nome TOKO 1002N.

Para obter um nível maior de proteção no sistema sobre níveis elevados de tensão é utilizado um diodo bidirecional (D5), no valor de P6KE-6V8CA. Caso ocorra algum pico de tensão acima de 6,8V no enrolamento secundário do transformador este diodo irá proteger o resto do circuito (HIGH TECH HORIZON, 2007).

3.2.1 Desenvolvimento do Firmware

O firmware foi desenvolvido com a linguagem de programação C, e foi organizado em cinco estruturas principais de funcionamento, que consistem em:

- a) **Módulo principal do sistema:** Responsável por efetuar verificação de todas as outras sub-rotinas. Este módulo foi implementado para verificar o status de cada uma das sub-rotinas existentes no sistema, além de inicializar todos os parâmetro necessários para colocar em funcionamento o microcontrolador.
- b) **Controla PLC:** Este módulo tem a função de controlar a chamada das funções. Esta rotina tem a função de interpretar o comando que foi escolhido pelo usuário através do teclado e transmitir o comando pela porta serial para o outro modem conectado à rede.
- c) **Controla Leds:** Sua função consiste em controlar as portas de saída do microcontrolador. Através desta rotina torna-se possível controlar todas as portas de saída do microcontrolador, tanto as do display quanto as saídas digitais do circuito.
- d) **Controla Teclado:** Objetivo de verificar qual tecla foi pressionada e tratá-la. Para controlar o teclado foi criada uma rotina só para tratá-lo. O controle consiste em verificar qual tecla foi pressionada e evitar repiques da tecla pressionada. Nesta rotina foi utilizado máquina de estado para controlá-la.
- e) **Controla Serial:** Responsável em receber e enviar dados pela porta serial, verificando se os dados provindos da porta são válidos ou não. Um dos problemas encontrado no desenvolvimento do firmware foi o recebimento de “lixos” dados não desejados. Estes dados geravam comandos falsos para o sistema. Para solucionar foi necessário programar um protocolo de comunicação.

Após a implementação deste protocolo de comunicação não ocorreu mais disparos falsos no sistema.

3.2.2 Placa de circuito impresso

Após ter definido o circuito eletrônico (ver ANEXO A) e realizado os testes do firmware, iniciou-se o processo de confecção da placa de circuito impresso (PCI) utilizando a ferramenta de desenvolvimento da empresa Altium o software DXP.

Na figura a seguir é possível observar a PCI em 3D.

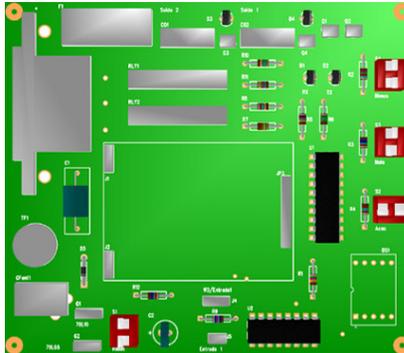


Figura 4 Visualização da PLC em 3D

Finalmente, após toda a parte de desenvolvimento concluída, foi possível enviar a uma empresa especializada em confecção de placas de circuito impresso os arquivos gerber para colocá-los em produção.

Na imagem a seguir torna-se possível observar a PCI confeccionada e montada com os respectivos componentes que a compõe.

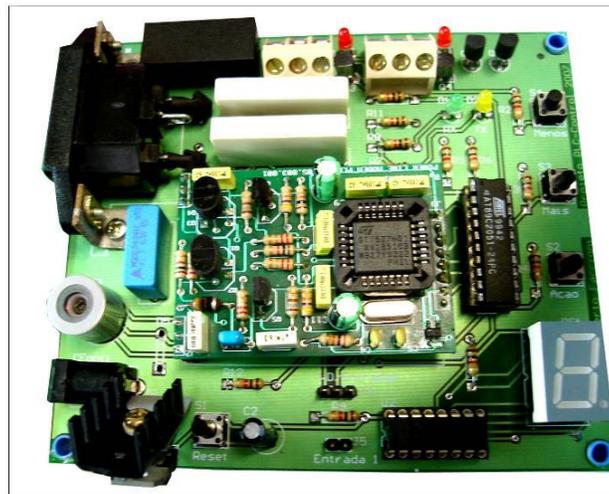


Figura 5 PCI do protótipo confeccionada e montada

3.2.3 Testes

Com o objetivo de avaliar a qualidade e imunidade a ruídos e também para analisar as distancias atingida com o modem PLC desenvolvido, foi utilizado um par de fios paralelos de

100m, com seção transversal de 2 milímetros quadrado, com derivações de tomadas a cada 25m.

Este método de testes foi utilizado devido à não obtenção de plantas do prédio onde seriam realizadas as análises com precisão. Com isso ficava impedido de identificar a distância entre as tomadas e se estava realmente transmitindo na mesma fase que estava pretendendo receber os dados.

O diagrama de transmissão e recepção dos dados através do cabo utilizado pode ser observado na figura a seguir.

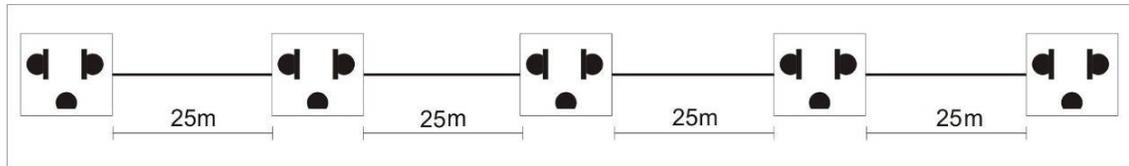


Figura 6 Diagrama da distribuição das tomadas no cabo

Com o auxílio de um osciloscópio digital de dois canais da empresa fabricante Instek, modelo GDS-2062, foi possível obter algumas imagens das ondas portadoras utilizadas para a transmissão.

Para iniciar os testes de transmissão e recepção dos dados, foi utilizado o canal 1 do osciloscópio para analisar a saída analógica ATO do modem PLM-24/1 (ver seção 2.4.1), este canal está representado nas imagens a seguir pela cor amarela. O canal 2 do osciloscópio foi ligado à entrada analógica RAI do modem PLM-24/2 (ver seção 2.4.1), este canal está representado nas imagens a seguir pela cor azul.

Para facilitar a compreensão das ondas, segue a baixo a legenda das cores:

Amarelo: ATO Saída Analógica, (Saída do modem transmissor).

Azul: RAI Entrada Analógica, (Entrada do modem receptor).

Teste 1

A figura a seguir representa o primeiro teste realizado com os modems. É possível observar que ambos os modems foram inseridos no mesmo ponto de tomada. Importante destacar que neste teste não existia tensão elétrica nas tomadas.

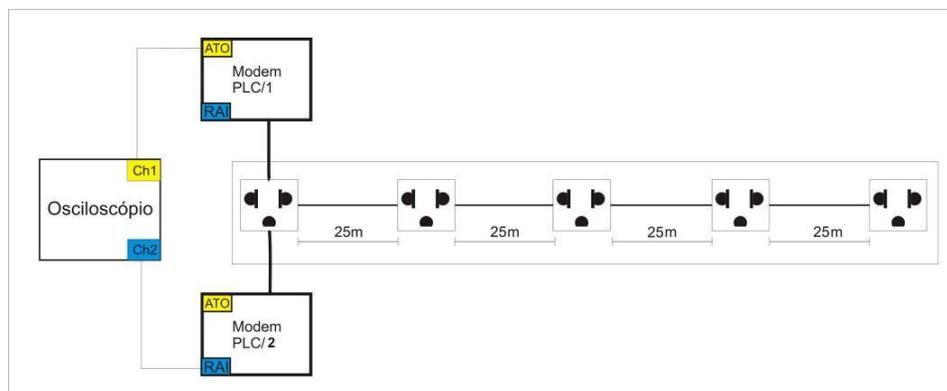


Figura 71 Diagrama do primeiro teste realizado com o osciloscópio. Fonte: do autor (2008)

A imagem resultante deste primeiro teste com o osciloscópio (ver figura 8), onde o sinal transmitido pelo pino ATO do modem PLC/1, é muito parecido com o a recepção do sinal no pino RAI do modem PLC/2.

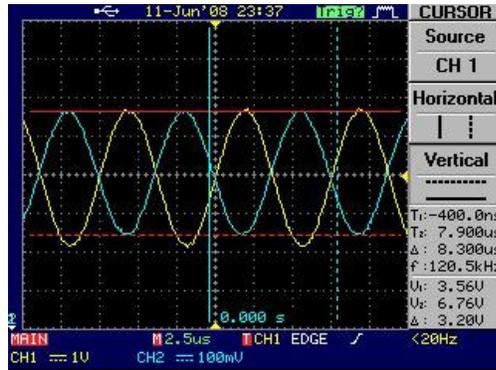


Figura 8 Obtenção da onda portadora do teste 1

Teste 2

O segundo teste realizado consistiu em levar o modem PLC/2 para a outra extremidade do cabo, observando ainda que este cabo não estava sendo alimentado por tensão elétrica.

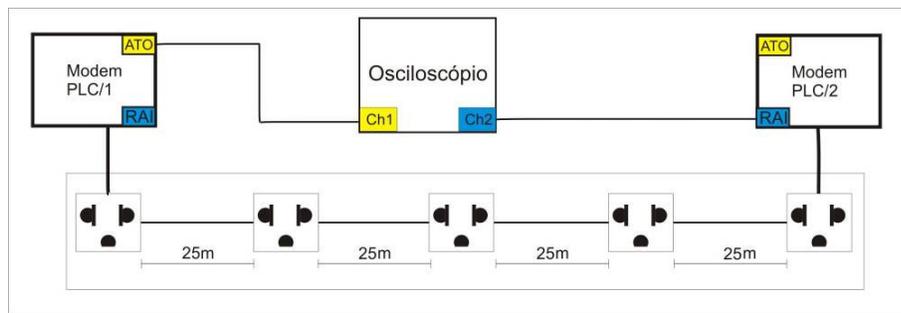


Figura 9 Diagrama do segundo teste realizado com o osciloscópio

O resultado deste teste é observado na figura 23, representando a atenuação significativa do sinal recebido na porta RAI do modem PLC/2.

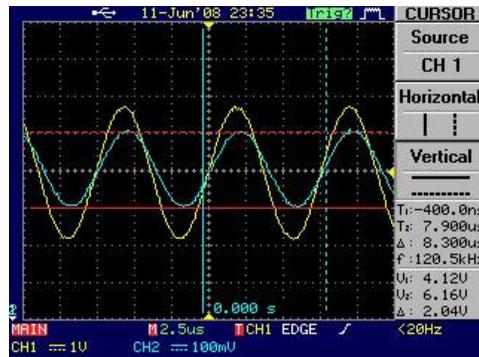


Figura 10 Atenuação do sinal em relação à distância

Teste 3

Para o teste de número três, foi inserido, em uma das extremidades do cabo, a tensão de 220V não estabilizada. Muito importante observar que ambos os modems estão ligados ao mesmo ponto de tomada.

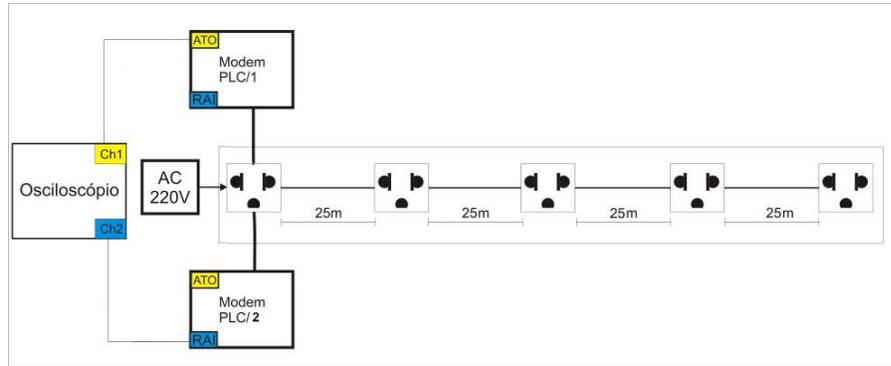


Figura 11 Diagrama do teste 3

É possível observar na figura a seguir a elevada atenuação do sinal de recepção no pino RAI do modem PLC/2.

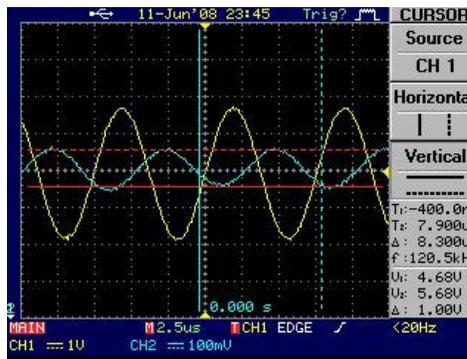


Figura 12 Representação da atenuação no teste 3

Teste 4

Para a realização deste teste foi inserido o valor 220V, em uma extremidade do cabo estava o modem PLC/1, na outra o modem PLC/2.

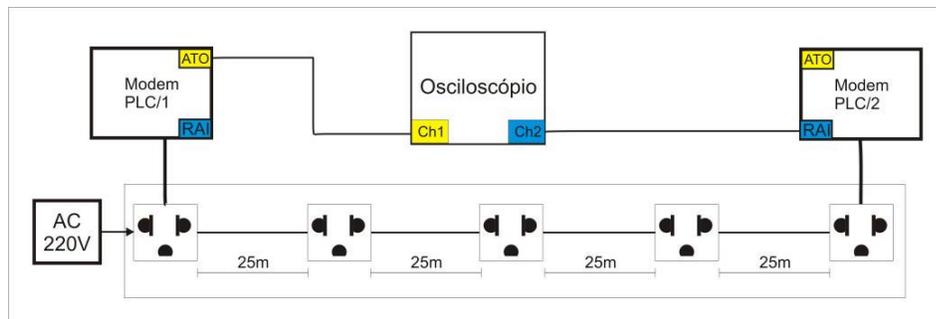


Figura 13 Diagrama do segundo teste realizado com o osciloscópio

A figura a seguir representa o valor mais atenuado de todos os testes realizado com os modems PLC.

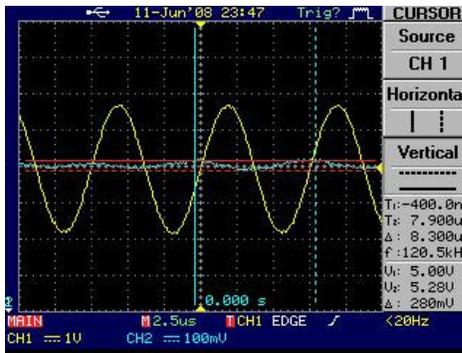


Figura 14 Representação da atenuação no teste 4.

Apesar das atenuações dos sinais, os dados foram transmitidos e recebidos normalmente.

Teste 5

Para a realização do teste 5, utilizou-se de uma rede 110V. Com um estabilizador de energia da fabricante TS SHARA, modelo EVS Professional. Para alimentar este estabilizador usou-se a mesma rede 220V dos experimentos anteriores, proporcionando, na saída do estabilizador, os valor desejado de 110V.

Na figura a seguir é possível observar a arquitetura utilizada.

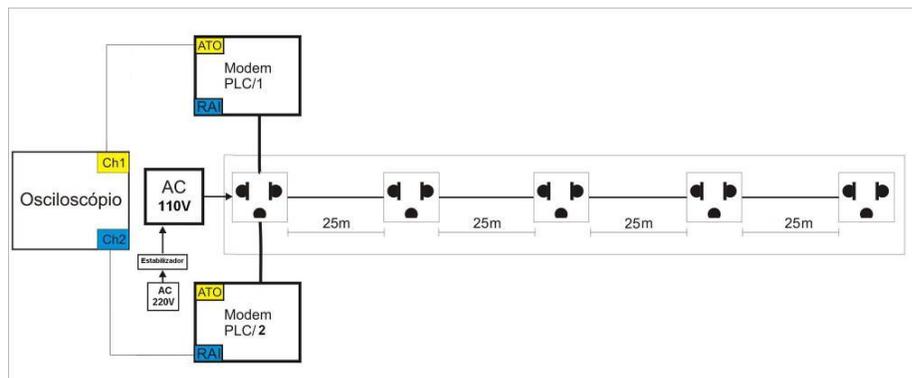


Figura 15 Diagrama dos testes em rede 110V

É curioso observar que, este é muito semelhante ao teste 3, a não ser a alimentação do circuito que, no teste anterior era em 220V e não existia um equipamento para estabilizar a tensão. Já no teste 5 foi utilizando uma rede 110V estabilizada o valor da onda portadora na porta RAI ficou a cima do teste 3

Teste 3 Porta RAI= 1,00V

Teste 5 Porta RAI= 1,84V

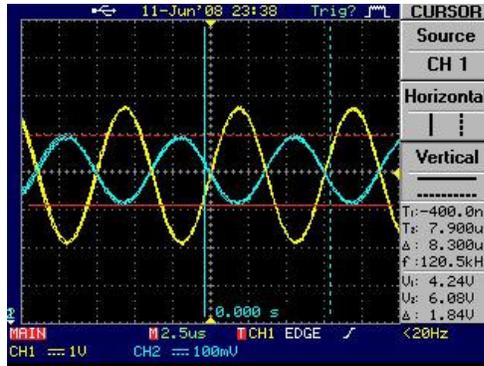


Figura 16 Representação de atenuação do teste 5

Teste 6

Na figura a seguir é possível observar a diagramação do experimento 6. Importante ser observado que nesta rede a tensão de alimentação é de 110V e o resultado é bastante diferente do teste 4, cuja a diagramação é muito parecida.

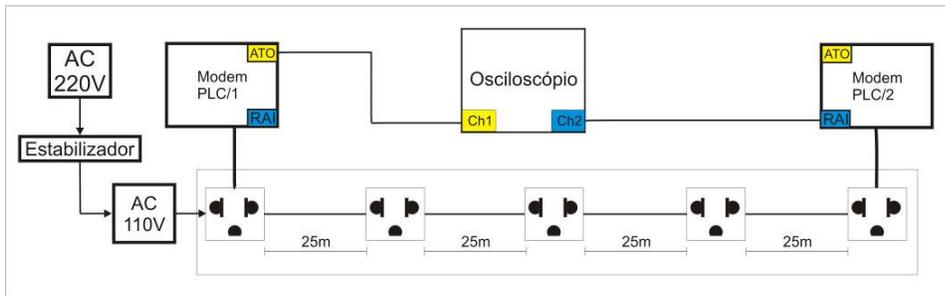


Figura 17 Diagramação do teste 6

Este teste apresenta a melhor qualidade de transmissão da onda portadora utilizando um estabilizador na rede elétrica. A amplitude do sinal RAI, é maior quando utilizamos uma rede mais estabilizada.

Comparando o resultado do teste 4 com o teste 6 temos:

Teste 4 Porta RAI= 280 mV

Teste 6 Porta RAI= 600 mV

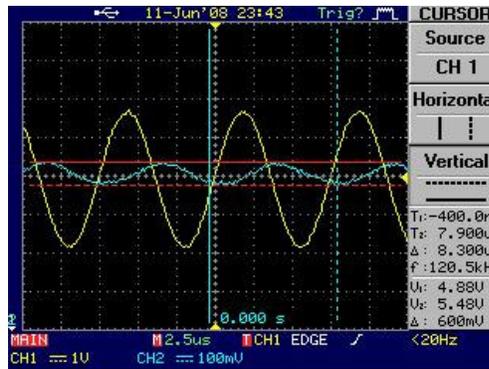


Figura 18 Representação do teste 6

Testes de perturbações

Estes testes consistem em gerar perturbações no sistema para avaliar a eficiência do protótipo, até que situação ele opera normalmente.

Teste de perturbação com motor elétrico a escovas

O primeiro teste de perturbação realizado foi com um liquidificador ARNO de modelo antigo, não identificado. A escolha do equipamento deu-se por utilizar um motor cuja para seus contatos é utilizado escovas que ocasionam bastante ruído na rede elétrica.

Na ilustração a seguir, é possível identificar onde foi inserido este equipamento para gerar perturbação ao sistema.

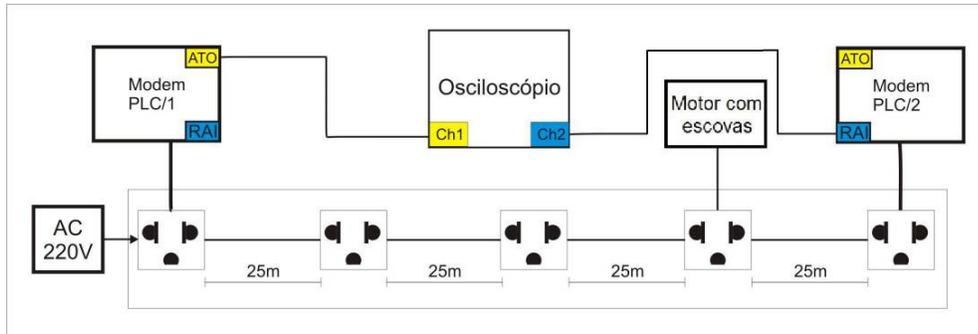


Figura 19 Perturbação gerada com motor de escovas

Os resultados obtidos com este teste podem ser observados na figura a seguir. Destacando que os modems PLC operaram normalmente.

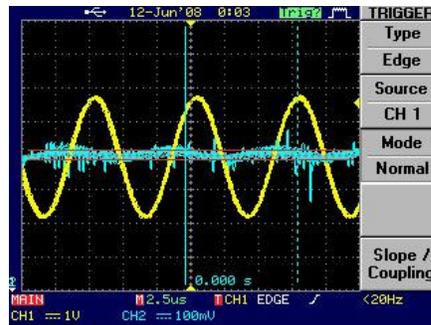


Figura 20 Resultado da perturbação gerada com motor de escovas

Teste de perturbação gerada com inversor de frequência

Acreditava-se que este experimento seria o mais crítico e que o sistema não operaria corretamente. Foi utilizado um inversor de frequência da WEG, modelo CFW08.

Na imagem a seguir é possível observar a arquitetura montada no teste de perturbação utilizando um inversor de frequência.

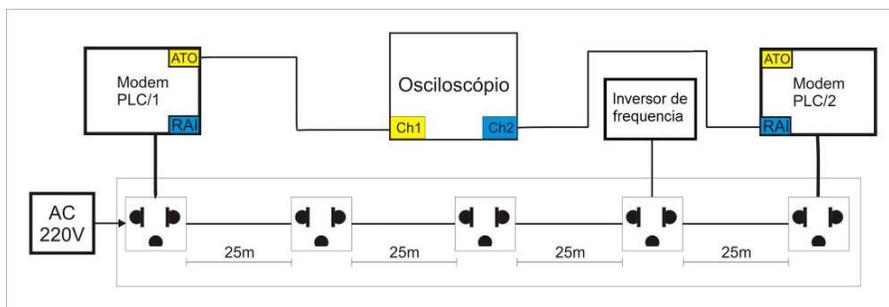


Figura 21 Geração de perturbação com inversor de frequência

Na realização deste experimento foi comprovado parte do que se esperava: o inversor de frequência gerou bastante perturbação (ruído) na rede elétrica. Era esperado que a comunicação entre os modems não ocorresse ou que o sistema se tornasse instável. No entanto os dois modems comunicaram e todos os dados transmitidos foram recebidos.

A figura a seguir apresenta os gráficos gerados pelo osciloscópio neste experimento.

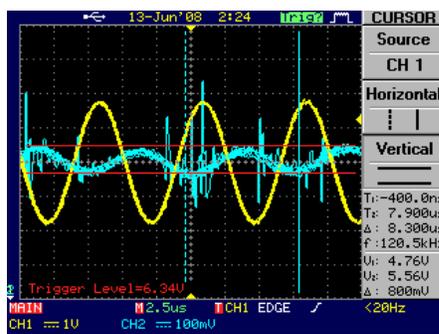


Figura 22 Perturbação gerada com o inversor de frequência

4 CONCLUSÕES

Em testes de laboratório foi comprovado que a distância de transmissão entre os modems PLC é um fator determinante para atenuação dos sinais. Eles comprovam também a influência da qualidade da energia elétrica para a transmissão, foi possível observar isso nos testes utilizando um estabilizador de energia, onde a onda portadora teve menor atenuação.

Analisando os resultados da pesquisa foi possível concluir que a modulação mais adequada para pequenas taxas de transmissão de dados pela rede elétrica realmente é a modulação FSK por possuir boa imunidade a ruídos e por funcionar com elevado nível de atenuação. Mas a técnica de modulação mais utilizada atualmente esta sendo a OFDM, por possibilitar grandes taxas de transmissão de dados pela rede elétrica, atingindo hoje velocidades de até 224 Mb/s.

Apesar de todos os testes realizados em laboratório, não foi possível implementar um dos experimentos pretendidos, que era analisar a comunicação PLC em um ambiente industrial, que consiste em um teste de campo bastante realístico. No entanto, para simular este ambiente, foi inserido, na rede elétrica do laboratório, um inversor de frequência para analisar o comportamento do sinal PLC. Foi observado neste experimento que o inversor de frequência gera bastante ruído na rede elétrica, mas não ocasionou problemas na comunicação.

Considerando todos os resultados obtidos pode-se concluir que a tecnologia de comunicação PLC utilizando a modulação FSK pode ser utilizada para aplicações de Telemedição e Telecomando, além de aplicações que utilizem baixas velocidades de transmissão. Seu funcionamento em ambientes com ruídos na rede elétrica se mostrou satisfatório, mesmo com as atenuações de sinais para distâncias relativamente pequenas (100m).

Trabalhos futuros podem ser realizados ainda utilizando esta tecnologia em ambientes industriais com maior nível de ruído elétrico e maiores distâncias de transmissão.

REFERENCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Edital Publicado Referente a Regulamentação das Normas Técnicas Voltadas a PLC. [2006]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=55&idPerfil=3>>. Acesso em: 10 Jan. 2007.

ATMEL CORPORATION (San Jose). **Datasheet Microcontroller AT89C5251**. Disponível em: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0368.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2007.

CORRÊA, J. R. PLC: Power Line Communications.2004. 51 f. Trabalho de Final de Curso (Superior) em Sistemas de Informação, UNIMINAS, Uberlândia, 2004. Disponível em: <<http://si.uniminas.br/TFC/monografias/TCC%20Josias%20Rodrigues%20Correa-Agosto%202004.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2008.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de comunicação analógicos e digitais**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 837 p.

HIGH TECH HORIZON (Suécia). **Send and recive data over the mains: PLM-24 Power Line Modem**. 2007. Disponível em: <<http://www.hth.com>>. Acesso em: 01 fev. 2007.

JATOBÁ, P. L. de O.O uso da tecnologia PLC no contexto da realidade brasileira. **Workshop Sobre Power Line Communication: [trabalhos apresentados]**. Brasília DF: ANEEL, 2007. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/1%20-%20APTEL%20-%20PEDRO%20JATOBÁ%20\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/1%20-%20APTEL%20-%20PEDRO%20JATOBÁ%20(2).pdf)>. Acesso em: 3 maio 2007.

PINHO, R. R. de. **Comunicação de dados através da rede elétrica aplicada a automação residencial e predial**. 2005. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Superior) - Curso de Engenharia de Computação, Faculdade de Engenharia de Sorocaba, Sorocaba (SP), 2005. Disponível em: <http://www.cseg.eng.br/repositorio/tcc/TCC_PLCH.pdf>. Acesso em: 22 out. 2007.

RIBEIRO, M. V.. P&D para apoio a regulamentação e a padronização da tecnologia PLC. **Workshop Sobre Power Line Communication: [trabalhos apresentados]**. Brasília, DF: ANEEL, 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/4%20-Moises%20-%20UFJF%20-%20.pdf>>. Acesso em: 3 maio 2007.

SILVA, A. **Arquitetura em Sistemas Power Line Communication (PLC): para a universalização do acesso a internet**. 2008. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Superior) - Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, SENAI/Florianópolis, Florianópolis, 2008.

THOMSON, S.; HULOUX, J.; HANUS, L. **ST7537 Power line modem application:** application note. U.S.A: SGS-THOMSON, 1995. 32 p.

VIEIRA, J. G. A CELG no projeto Opera 2 e suas perspectivas de aplicação da tecnologia PLC. **Workshop Sobre Power Line Communication: [trabalhos apresentados]**. Brasília DF: ANEEL, 2007. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/CELG%20-%20Vieira.pdf>. Acesso em: 3 maio 2007.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALENCAR, Marcelo Sampaio de. **Telefonia celular digital**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2004. 470 p.

GOMES, Alcides Tadeu. **Telecomunicações: transmissão e recepção AM-FM**. 10. ed. São Paulo: Érica, 1995. 415 p.

PROCEMPA (Porto Alegre (RS)). **Rede PLC Restinga**. Disponível em: <http://pwweb2.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/abemtic/usu_doc/plc_porto_alegre.pdf>. Acesso em: 04 maio 08.

SOARES NETO, Vicente. **Telecomunicações: sistemas de modulação**. São Paulo: Érica, 2005. 196 p.

Originais recebidos em: 23 out. 2008

Texto aprovado em: 23 nov. 2008

SOBRE OS AUTORES



**André Umberto
Faccioni**

Possui Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial pelo SENAI/Florianópolis (SC) (2008). Curso Técnico de Informática, Escola Técnica ACEI, Florianópolis, (SC) (2003). Segundo Grau Técnico em Administração, Colégio Estadual João Winckler, Xanxerê (SC) (1998). Vários cursos e treinamentos na área. Experiência profissional na área técnica. Gerenciamento do projeto PLC-Control na Pré-Incubadora de empresas do SENAI/Florianópolis. Com o objetivo de desenvolver uma solução comercial para telemedição de energia elétrica. Florianópolis.

E-mail: andreumberto@yahoo.com.br



**Lucas Marcon
Trichez**

Profissional Especialista em Engenharia de Software/UML, certificado pela IBM e graduado como Tecnólogo em Automação Industrial pelo CTAI/SENAI. Conta com mais de 8 anos de experiência no mercado de trabalho, atuando hoje como Instrutor de Sistemas Microprocessados no CTAI/SENAI além de atuar como Coordenador de uma equipe de P&D na HDL da Amazônia Indústria Eletrônica/SC. Possui ampla experiência na área de desenvolvimento de Sistemas Telefônicos Embarcados, programação para microcontroladores / computadores além de conhecimentos em eletrônica, automação e computação em geral.

E-mail: lucasm@sc.senai.br



**Ronaldo Lopes
Macedo**

Mestrando em Engenharia de Produção (UFSC), Especialista em Sistemas de Gestão (UNIVALI) e Graduado em Engenharia de Produção e Sistemas (UFSC). Atua como professor universitário no SENAI/SC, FASC e UNESC. Atua como consultor em gestão de negócios, elabora projetos de desenvolvimento tecnológico e fomento a negócios, Gerente da Qualidade e Planejamento do Grupo EQUISUL, Membro do Conselho deliberativo da Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de São José/SC (IESJ), atuação como Diretor Executivo da AEMFLO/CDL-SJ (Associação Empresarial da Região Metropolitana da Grande Florianópolis) e Auditor de Sistemas de Gestão ISO 9000.

E-mail: ronaldo@sc.senai.br

ANEXO A

