

TRANSMISSÃO DE SINAIS ELETROCARDIOGRÁFICOS USANDO A REDE ELÉTRICA DOMÉSTICA

J. O. Gaio^{1e2}, J. A. S. Carvalho^{1e2}, R. L. Barbosa², A. Netto², M. F. S. Barroso¹ e L. B. Felix^{1e2}

¹Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica - UFSJ, São João Del Rei, Brasil

²Núcleo Interdisciplinar de Análise de Sinais - UFV, Viçosa, Brasil

e-mail: joyceogaio@hotmail.com

Resumo: A telemedicina é uma operação conjunta entre serviços associados à saúde e tecnologias de comunicação. Este trabalho propõe um sistema de monitoramento remoto do eletrocardiograma (ECG), para aplicação em telemedicina, utilizando a tecnologia de transmissão de dados pela rede de energia elétrica *Power Line Communication* (PLC). Neste trabalho, o sinal do ECG é obtido e condicionado por um eletrocardiógrafo, transmitido por um modem PLC pela rede de energia elétrica e reconstruído para ser visualizado pelo usuário. Os resultados obtidos demonstram que as perdas de transmissão foram baixas, mesmo quando testado na presença de cargas e em diferentes situações. Para cargas resistivas as perdas foram de 0,20%, com um motor monofásico foram 0,27%, com um motor trifásico 0,79% e o máximo de perdas foi na presença de um inversor de frequências, chegando a 1,32%. Foram observadas que essas pequenas perdas não trouxeram perdas visuais ao traçado do ECG transmitido, o que nos permite concluir que o sistema desenvolvido pode ser uma alternativa útil para a telemedicina de sinais ECG.

Palavras-chave: Eletrocardiograma, *Power Line Communication*, Telemedicina.

Abstract: *Telemedicine is a joint operation among health associated services and communication technologies. This work proposes a remote monitoring system of the electrocardiogram (ECG) to be applied in telemedicine, using the data transmission technology over power grid Power Line Communication (PLC). In this work, the signal of ECG is obtained and conditioned by a electrocardiograph, to be transmitted by a PLC modem through the electrical power line and rebuilt to be viewed by the user. The results have shown that the transmission losses were low, even when tested the presence of loads and at many different situations. For resistive load, the losses were 0.20%, for a single-phase motor the losses were 0.27%, for three phase motor, the losses were 0.79% and the maximum losses were when tested in the presence of a frequency inverter, reaching 1.32%. Was observed that these small losses not brought any visual losses to the layout of the transmitted ECG, allowing us to conclude that the developed system can be a useful alternative for ECG signals telemedicine.*

Keywords: *Electrocardiogram, Power Line Communication, Telemedicine.*

Introdução

Power Line Communication (PLC) designa uma tecnologia que usa a rede elétrica de média e baixa tensão para fornecer serviços de telecomunicações, segundo Carcelle [1]. A fiação elétrica é, portanto, o meio de transmissão de dados, correspondendo à

camada física do padrão *Open Systems Interconnection* (Modelo OSI). A tecnologia PLC é capaz de suportar os diversos tipos de tráfego como voz, dados, imagem estática e vídeo [2].

A principal vantagem do emprego dessa tecnologia de transmissão é que se torna desnecessária a instalação de infraestrutura de rede, uma vez que a rede elétrica já está disponível em 97,8% das residências e prédios do Brasil (dados do IBGE 2010). Outra vantagem, é que o cabeamento da rede elétrica possui maior capilaridade em relação a outros sistemas de comunicação. De acordo com Oliveira e colaboradores [3], a prova disso, é que a energia elétrica vai a lugares onde as linhas de telefone, cabos de TV e assim por diante, não foram projetadas para ir.

As aplicações das redes PLC são muitas. De forma geral, todo sistema que necessita de transmissão de dados de um ponto a outro, pode envolver essa tecnologia. Assim, a transmissão via rede elétrica é usada no meio industrial, comercial, residencial é mais vantajoso em locais onde é difícil a criação de infraestrutura de rede. Atualmente, a maioria das pesquisas e projetos que envolvem a tecnologia PLC é para dar suporte às *Smarts Grids*, para aplicações em telemedicina e como via de transmissão da internet. Na telemedicina, a tecnologia PLC vem como um recurso para a realização da prática médica à distância e a transmissão de exames em tempo real em casos emergenciais, auxiliando e tornando mais rápido o diagnóstico remoto de pacientes. Além disso, a comunicação entre profissionais dentro dos próprios hospitais pode ser fortalecida pela incorporação da telemedicina, possibilitando o diagnóstico mais rápido de pacientes, o que muitas vezes pode salvar vidas.

O objetivo deste trabalho é oferecer uma alternativa de transmissão do eletrocardiograma (ECG), como via de facilitação do diagnóstico remoto de pacientes. O projeto tem como proposta, um sistema de transmissão do sinal do ECG, utilizando a tecnologia de transmissão de dados PLC em rede de energia elétrica doméstica.

Materiais e métodos

O projeto do sistema de transmissão do sinal do ECG via PLC, foi realizado em quatro etapas: o condicionamento do sinal do ECG, o processamento dos dados, a transmissão via PLC e a reconstrução do sinal.

Condicionamento do sinal do ECG - O sinal do ECG foi obtido e condicionado por um eletrocardiógrafo construído no NIAS-UFV, composto basicamente por circuitos de proteção, um circuito de realimentação, que gera a referência do ECG, por etapas de amplificação e pelo condicionamento, que filtra e gera um *offset* de 2,5V pra que o sinal de saída esteja na faixa de 0V a 5V, como mostra a Figura 1.

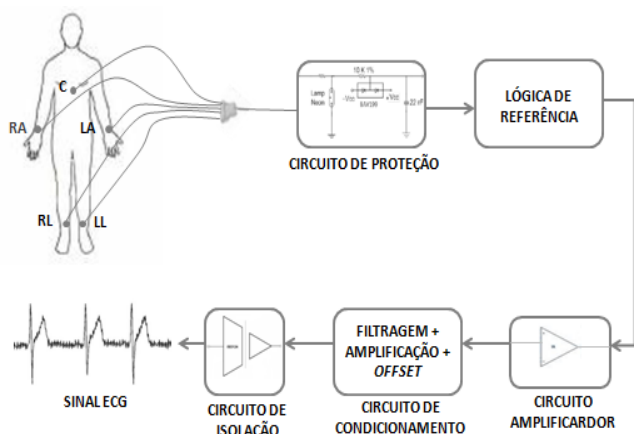


Figura 1: Diagrama do processo de obtenção do sinal do ECG.

A coleta do sinal do ECG é feita com uma derivação precordial, ou seja, com apenas um eletrodo posicionado sobre o peito do paciente, que é efetivamente o sinal de interesse, além dos eletrodos das pernas e braços que geram a referência de tensão. A aquisição dos dados foi feita pela placa NIUSB-6215 da *National Instruments*, com uma frequência de amostragem de 100Hz.

Processamento do sinal - O princípio de funcionamento da tecnologia PLC consiste em sobrepor um sinal de alta frequência (normalmente na faixa de 1MHz a 35MHz) e baixa potência, aos 60Hz existente na rede elétrica. A comunicação de dados via PLC, basicamente, pode ser dividida em duas camadas principais: a camada de enlace e a física do modelo OSI. Na camada física são estabelecidas as especificações elétricas e físicas dos dispositivos, é onde são definidas as técnicas de modulação para transmitir a informação. Já a camada de enlace transforma os dados a serem enviados, em pacotes de bits denominados *frames*. Os *frames* contêm informações como o endereço dos dispositivos de origem e de destino, dados de controle e o CRC (*Cyclic Redundancy Check*). No receptor a camada de enlace verifica os dados recebidos e confere se estão corretos refazendo o CRC.

No sistema proposto, é utilizado para a transmissão de dados, o *PLC Modem Evaluation kit NCN49597*, da *ON Semiconductor - USA*, baseado na modulação S-FSK (*Spread Frequency Shift Keying*). A transmissão pelo kit PLC NCN49597 é feita pelo envio de *frames* seguindo o padrão do protocolo HDLC (*High-level Data Link Control*). Todo o processamento dos dados vindos do eletrocardiograma tem a finalidade de adequar cada ponto, formando a estrutura padrão do *frame*.

O *frame* do NCN49597 é constituído por: START BIT - ADDRESS - CONTROL - OPCODE - PAYLOAD - CRC - STOP BIT.

CRC (*Cyclic redundancy check*) é um método de verificação de erros, executada pelos *modems* transmissor e receptor e consiste na divisão de todos os bits serializados por um valor binário constante que é chamado de polinômio. O caractere de verificação é o resto dessa divisão. Neste caso é usado o padrão CRC16-CCIT, cujo polinômio é $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ (em binário representado por 1 0001 0000 0010 0001).

A estrutura da lógica de tratamento dos dados derivados do eletrocardiograma foi dividida em dois algorit-

mos que rodam simultaneamente no Matlab®: o algoritmo de aquisição de dados, responsável pela comunicação com a placa NIUSB-6215 da *National Instruments*, e o algoritmo de processamento, que forma o *frame* e faz a interface de comunicação com o *modem* PLC.

O algoritmo de processamento prepara os dados, calcula o CRC e envia o *frame* para o *modem* por comunicação serial. O kit PLC segue o formato de *frame* descrito na Tabela 1, sendo que, para fins de transmissão na subcamada MAC, a maioria dos bits é constante, variando apenas os pontos do sinal do ECG a ser transmitido e o CRC.

Tabela 1: Formato do *frame* para a transmissão.

Start Bit	Address	Control	OPCode	Payload	CRC	Stop Bit
7E	03	00	01	Sinal do ECG	LSB-MSB	7E

Como exemplo, abaixo é apresentado um *frame* utilizado pelo kit, para transmitir o valor 12345 para um *modem* receptor com o endereço 00: 7E 03 00 01 00 00 00 00 01 23 45 5F 34 7E.

Caso algum *frame* seja corrompido, ou os bits do CRC não sejam calculados corretamente, o dado é descartado pelo *modem* como forma de garantir a confiabilidade da informação.

Durante a transmissão, é necessário um intervalo de tempo entre o envio de dois *frames* consecutivos, para que os bits não se misturem na comunicação serial. No *Datasheet NCN49597* é mencionado que esse intervalo é de aproximadamente 45ms em aplicações diretas com microcontroladores. Mas, quando testado no algoritmo de interface com o *modem*, esse intervalo de tempo não é o mesmo a cada envio de *frame*. Portanto, fez-se necessário uma lógica que verifica se a porta serial está ociosa, para então enviar os próximos bits.

Transmissão via PLC - Feito o processamento do sinal do ECG, os *frames* são enviados para o *modem* por comunicação serial RS232. No *modem*, os valores passam pelo conversor D/A, são condicionados, filtrados e passam pelo processo de modulação S-FSK. O sinal modulado é então transmitido pela rede elétrica em alta frequência, que nesse caso é de aproximadamente 12MHz.

Reconstrução do sinal - A reconstrução do sinal é feita pelo Matlab®, que faz o procedimento reverso do processamento realizado para a transmissão. O *frame* recebido é convertido em valores decimais e apresentado em um gráfico para ser interpretado pelo usuário.

Testes de desempenho - De acordo com o *manual do usuário* [4], é muito difícil prever com precisão o desempenho da comunicação entre os *modems*, pela complexidade e diversidade da topologia da rede elétrica. Portanto, foram realizados testes com a rede PLC conectada a cargas ruidosas, para verificar se o sistema é capaz de lidar com as características hostis do canal.

Primeiramente, foi testada a influência da distância entre *modems*, na perda de dados. O sistema PLC foi ligado a uma extensão de 100m de comprimento, com tomadas conectadas a cada 10m, variando a distância entre o transmissor e o receptor.

Com a distância fixa de 100m entre os *modems*, foram conectadas, por vez, algumas cargas que poderiam afetar o desempenho da comunicação. Primeiro, foram ligadas bancadas de lâmpadas incandescentes, variando

a quantidade de lâmpadas acesas, para analisar se a intensidade da corrente afeta diretamente na perda de dados.

Os ruídos impulsivos normalmente afetam a qualidade da transmissão PLC. Para verificar o comportamento do sistema projetado na presença desse tipo de ruído, foram realizados dois testes. O primeiro com a partida direta de um motor de indução trifásico, de 2KW, corrente nominal de 5A e corrente de partida de aproximadamente 25A; o segundo com um inversor controlando a partida de um motor de 1CV e corrente nominal de 2,4A.

Resultados

A transmissão do sinal do ECG utilizando a tecnologia PLC, foi realizada a uma frequência de amostragem de 100Hz, sendo que o tempo de coleta total do exame foi de 60 segundos. A Figura 2 apresenta um trecho do sinal transmitido a uma distância de 100 metros. Nessa situação, em média 0,0028% dos dados foram corrompidos durante a transmissão.

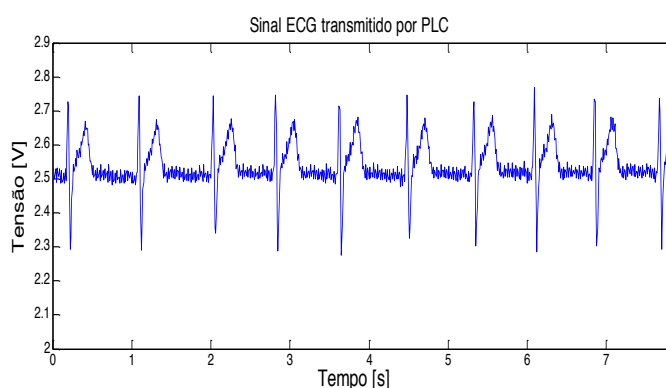


Figura 2. Sinal do ECG transmitido via PLC.

A Figura 3 mostra o gráfico que relaciona a distância entre os modems com as perdas de dados durante a transmissão. Nesse teste, a distância foi aumentando de 10 em 10 metros, até o máximo de 100 metros. O máximo de perdas obtido foi de 0,011%.

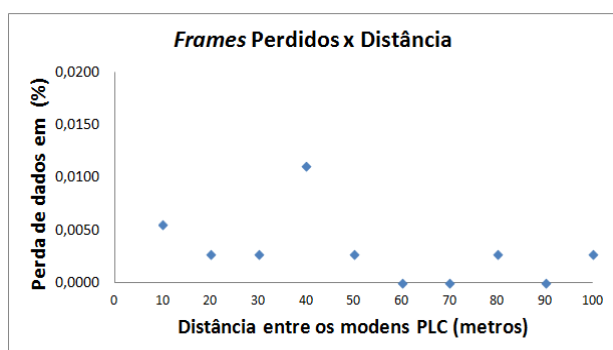


Figura 3. Gráfico da perda de dados em função da distância.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes realizados inserindo lâmpadas incandescentes no circuito da rede de transmissão PLC.

Tabela 2: Resultado dos testes com corrente variável.

Corrente da carga em [A]	Perda de dados [%]
6,6	0,13
10,8	0,20
20,4	0,20

No teste realizado com a partida direta do motor de 2KW e $I_{partida} = 25A$, a porcentagem média da perda de dados foi de 0,14%. Já no teste com o inversor, as perdas foram maiores em relação aos testes anteriores, resultando em 1,32% dos dados corrompidos ou perdidos.

A Tabela 3 apresenta o tempo de duração do exame ECG e o tempo de transmissão do sinal. Pelos valores obtidos, verifica-se que o tempo total de transmissão tende a ser aproximadamente 10 vezes maior que o tempo de coleta, a uma frequência de amostragem de 100Hz.

Tabela 3: Análise do tempo de transmissão.

Duração do ECG [s]	Tempo de transmissão [s]
10	91,4
20	183,2
30	277,4
40	367,5
50	564,6
60	565,7
70	656,8
80	751,0
90	845,1
100	941,7

Discussão

Os resultados apresentados demonstram que o sistema PLC é capaz de transmitir o sinal com baixas perdas. Em relação aos aspectos analisados – distância, tempo e presença de cargas na rede – o sinal não sofre distorções significativas, mantendo a reconstrução confiável no receptor.

Em relação à distância, o sistema não apresenta grande influência quando se aumenta o espaçamento entre transmissor e receptor, pelo menos até os 100m testados, mantendo a taxa máxima de perdas de 0,011%.

Na presença de cargas ligada à rede de transmissão PLC, a taxa de perdas de frames aumenta. Para cargas resistivas – no caso, bancadas de lâmpadas incandescentes – foram perdidos no máximo 0,20% de frames, para uma corrente de carga de 20,4A. A taxa aumenta ainda mais, quando foi ligado um motor monofásico antigo (ventilador) no sistema e quando uma das fases de um motor trifásico foi inserida na rede, chegando a perdas de 0,27% e 0,79% respectivamente. Portanto, o desempenho do sistema de comunicação via PLC tende a ser mais prejudicado na presença desse tipo de carga. O pior desempenho do sistema projetado foi obtido quando um inversor de frequências foi inserido na rede de comunicação. Nessa situação as perdas chegaram a 1,32%. Mesmo assim, a deformação do sinal reconstruído é muito baixa.

No trabalho apresentado, não houve a preocupação de reenviar os frames que foram perdidos durante a transmissão, pois as perdas foram muito baixas e não são perdas de pontos consecutivos, o que não prejudica a reconstrução confiável do sinal de ECG. Além disso,

para aplicar este recurso, o tempo de transmissão seria ainda maior. Portanto, para essa aplicação, não se julgou necessária a implementação do reenvio de *frames* perdidos.

A maior limitação do projeto é o tempo total de transmissão dos dados. O sistema PLC demora aproximadamente 10 vezes o tempo de duração do exame ECG para transmitir todos os *frames*, o que pode ser um empecilho para algumas aplicações. Esse tempo alto se deve provavelmente à interface de comunicação serial entre o *modem* e o Matlab®. Por isso, um próximo passo para este projeto é a eliminação desta etapa, sendo que o processamento do sinal do ECG pode ser realizado acoplado um microcontrolado na saída do ECG, como em [5], onde é descrito um projeto de transmissão de sinais ECG e EEG via PLC, e a preparação dos dados para a transmissão é realizada pelo microcontrolador AT89C51.

Nesse caso, o tempo de transmissão seria reduzido, porém ainda não seria a transmissão em tempo real, uma vez que ainda são necessários 45ms de intervalo entre *frames*. Com isso, conclui-se que esse kit PLC não é ideal para a transmissão *online* de sinais e em aplicações para a transmissão de imagens de ultrassom ou de múltiplos canais de ECG esse sistema não é viável.

Conclusão

A rede elétrica não foi projetada para fins de comunicação de dados, mas mesmo nas simulações com cargas, os resultados mostram que o sistema proposto apresenta poucas perdas na transmissão. O que comprova a viabilidade de implementação do sistema PLC em vários ambientes.

Para todas as situações testadas, a uma distância entre *modems* de até 100m, o sinal reconstruído manteve as características do sinal do ECG, fundamentais no diagnóstico de doenças, comprovando um desempenho satisfatório e confiável da transmissão de dados pela rede elétrica, sendo que o máximo de perdas de dados foi de 1,32%. A maior limitação do projeto é o intervalo de transmissão. O sistema ainda demora em torno de 10 vezes o tempo de coleta para transmitir os dados. Mas para aplicações em que esse não é um fator crítico, o projeto é viável e apresenta confiabilidade e robustez para a comunicação de dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, FAPEMIG e CNPQ pelo apoio financeiro.

Referências

- [1] Carcelle X. *Power Line Communication in Practice*. 1ª ed. Artech House; 2009.
- [2] Zattar H, Corrêa P, Carrijo G. *Analysis, Measurement and Evaluation of Power Line Communication Network Applied for Popular Houses*. IEEE American Latin Transactions, VOL.10; 2012.
- [3] Oliveira TR, Correia SP, Barbosa SLP, Ribeiro MV, Marques CAG. *HOS-Based Impulsive Noise Detection Technique for Power Line Communication Systems*. IEEE; 2010. p. 125-130.
- [4] *Evaluation kit for power-line communication – user manual*. 2013. Available from: <http://www.onsemi.com>
- [5] Sridhathan C, Samsuri F. *Application of Power Line Communication in Healthcare for ECG and EEG Monitoring*. Proc. Of Int. Conf. on Advances in Power Electronics and Instrumentation Engeneering; 2013.