

Um Estudo Preliminar sobre Detecção de Pessoas a partir de *Power-Line Communication* (DP²LC)

Thiago Carneiro, Lisandro Lovisolo e Michel P. Tcheou

Resumo— Este estudo tem como objetivo avaliar o comportamento de portadoras OFDM em transmissões de dados utilizando PLCs e sua interação com corpos presentes no ambiente. Essa interação pode ser empregada como indicador para detectar pessoas em ambientes internos, de forma passiva, sem um papel ativo do alvo. A infraestrutura para o estudo foi idealizada e montada dentro de uma sala de aula. A análise das medições permite concluir que a detecção passiva da presença é possível. Além disso, os resultados preliminares apontam para a possibilidade de obtermos uma estimativa da posição do ocupante da sala.

Palavras-Chave— Detecção, Presença, HomePlug, PLC.

Abstract— This study aims to evaluate the behavior of OFDM carriers in data transmissions using PLCs and their interaction with bodies present in the environment. This interaction can be used as an indicator to detect people in indoor environments passively without an active role from the target. The study employs an infrastructure designed and set up inside a classroom. The analysis of the measurements allows us to conclude that detecting non-obstructive presence is possible. Furthermore, preliminary results point to the possibility of obtaining an estimate of the position of the room occupant.

Keywords— Detection, Presence, HomePlug, PLC.

I. INTRODUÇÃO

Um sistema de detecção de presença identifica a presença ou ausência de um alvo em um local ou ambiente. Já um sistema de posicionamento tem como finalidade estimar a posição de um alvo através de suas coordenadas em um espaço de duas ou três dimensões [1]–[5]. A proposta deste estudo está direcionada em utilizar a tecnologia de comunicação via linha de energia elétrica (PLC – *Power Line Communications*) para detectar presença de pessoas em ambientes internos. Consideramos a tecnologia PLC que emprega portadoras OFDM transmitidas através das linhas elétricas para realizar a comunicação entre dois pontos – os modems PLC. Essas portadoras serão o foco deste estudo, analisando suas variações de amplitude para detectar a presença de pessoas (corpos) em um ambiente comum.

A instalação elétrica interna residencial não possui uma impedância característica casada, como observado em linhas de Radiofrequência (RF) pura. Nas linhas de energia residenciais, ocorrem diversas anomalias [6] devido à inserção e remoção de eletrodomésticos e eletrônicos do circuito, além do descaçamento e da limitação da faixa de frequências que podem trafegar por essas linhas. Isso torna a faixa de frequência disponível para transmissão de dados altamente variável. O uso de OFDM pela tecnologia PLC permite acomodar essa variabilidade ao subdividir a banda em subportadoras.

Thiago Carneiro, Lisandro Lovisolo e Michel P. Tcheou, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica (PEL), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, e-mail: thiagocarneiropel@gmail.com, lovisolo@eng.uerj.br, mtcheou@eng.uerj.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, processo 312743/2023-8, e com apoio da FAPERJ e da CAPES – Código de Financiamento 001..

Os primeiros sistemas PLC datam do início do Século XX [7]. Inicialmente, eram utilizados para comunicações de dados em linhas de alta tensão. Com o passar das décadas e com a evolução tecnológica, surgiram as tecnologias atuais que oferecem grandes larguras de banda e altas taxas de transferência [7]. Há diferentes sistemas PLC padronizados pela ITU-T [8] e pelo IEEE [6], [8]. Neste trabalho, usamos o HomePlug AV (HPAV), mais especificamente, a versão HomePlug AV2 (HPAV2) de 2012 [9].

Podemos classificar as tecnologias PLC em três grupos principais, de acordo com a largura de banda: *Ultra Narrow Band* (UNB) (125-3000 Hz), *Narrow Band* (NB) (3-500 kHz) e *Broad Band* (BB) (1,8-100 MHz) [7]. O BB PLC é a escolha natural pra este estudo, considerando o comprimento de onda. O padrão HPAV2 opera na faixa teórica compreendida entre 1,8 e 86,13 MHz, contudo apenas sua faixa estendida será analisada (30 MHz a 70 MHz).

Partimos do pressuposto de que a interação de um corpo, estático ou em movimento, ocasiona alterações na banda empregada por sistemas PLC devido ao acoplamento magnético. Se essas alterações forem suficientemente grandes, sua detecção pode permitir identificar a presença de uma pessoa no ambiente onde o sistema PLC está em funcionamento.

Na literatura, existem classificações das categorias de detecção e de resolução de posicionamento, baseadas tanto na infraestrutura quanto no alvo [1]. Uma categoria em particular se alinha com nosso objetivo, a *Infra-based Target-Obtuse* (IBTO), na qual a infraestrutura é responsável pela resolução da detecção, sem interferência do alvo, representado aqui pela pessoa.

Neste artigo, objetiva-se realizar um estudo preliminar para avaliar se alterações de potências de portadoras OFDM em redes PLC permitem detectar a presença de uma pessoa, de forma passiva [1], [10]. A estrutura para os testes consiste em uma sala de 40 m², uma instalação elétrica utilizando fita elétrica trifásica fixada por toda a extensão horizontal da parede interna e tomadas como pontos de injeção e extração de sinal gerados pelos PLCs, em locais previamente definidos. A análise é possível através da conexão de três conjuntos de captura para medição, ou sondas, à essa fita elétrica, capturando em tempo real as portadoras OFDM resultantes da comunicação entre os modems PLC. Após uma captura de controle, ou seja, captura dessas portadoras OFDM com a sala vazia, é introduzido no ambiente o corpo humano. Essa introdução é feita colocando-se uma pessoa em regiões específicas dentro da sala, medidas são capturadas a cada região, com um total de 16 regiões aferidas por sonda. Em cada região, são realizadas 150 medidas para cada uma das sondas sincronizadamente, com espaçamento de 300 ms entre as medidas. Cada medida possui 2294 amostras de portadoras, distribuídas ao longo da largura de banda de 40 MHz. Ao

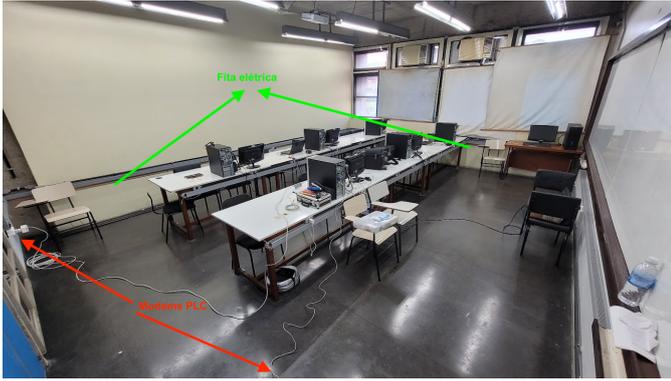


Fig. 1: Imagem do ambiente de medição destacando a fita elétrica e as posições dos modems.

final, comparamos os sinais medidos com sala vazia aos resultados obtidos com a captura em cada uma das regiões. A partir desses resultados poderemos avaliar a possibilidade de detecção de presença.

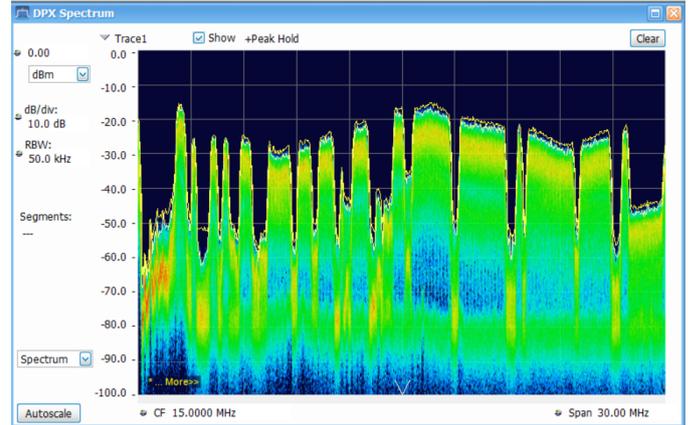
II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Com a tecnologia já elencada para nossos testes, os modems PLC precisam de uma instalação física controlada, mitigando qualquer interferência ou variação causada por equipamentos conectados a ela. A fim de manter a coerência na sequência de informações, os componentes descritos seguirão a ordem de disposição no arranjo experimental. Iniciamos com os modems PLC conectados à fita elétrica por meio de tomadas. Para a obtenção das leituras, conectaram-se filtros passa-alta nas tomadas – eliminando frequências abaixo de 1,5 kHz, consequentemente a tensão de 127 volts de rede – para entregar o sinal PLC filtrado a um analisador de espectro em cada ponto de coleta de medidas do sinal PLC. Os analisadores de espectro são acionados por um pulso TTL gerado por um microcontrolador Arduino. As capturas realizadas pelos analisadores de espectro são armazenadas para posterior tratamento. Nos referimos a cada conjunto de filtro e analisador de espectro usando “sonda”. No total, três sondas foram utilizadas para medições simultâneas em três pontos distintos ao longo da fita elétrica.

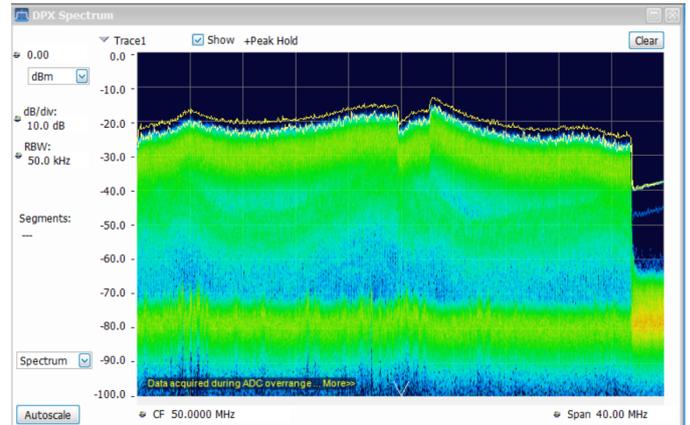
A. Ambiente e Instalação Elétrica

O experimento foi realizado nas dependências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em uma sala do Laboratório de Engenharia Elétrica, ilustrada na Figura 1, com dimensões aproximadas de 7 m × 5,5 m, em formato retangular, com móveis e computadores.

Fizemos uma instalação elétrica própria no ambiente, utilizando aproximadamente 25 metros de fita elétrica com três condutores, conforme mostrado na Figura 1, contornando toda a extensão da sala. Nessa instalação, há cinco tomadas; os dois modems PLC são ligados às tomadas nas extremidades opostas, como mostrado na Figura 1. As outras três tomadas são usadas para conexão das sondas de medição no experimento. A fita é energizada ligando-a à rede do edifício.



(a) 1.8–30 MHz



(b) 30–70 MHz

Fig. 2: Espectro das portadoras OFDM do HPAV2.

A escolha da fita elétrica como meio de distribuição faz um paralelo ao sistema de posicionamento executado por veículos aéreos autônomos que utilizam o campo magnético gerado para cálculo de distância a fim de efetuar acoplamento e recarga [1], [11]. O paralelismo dos condutores desta fita é mantido por toda a sua extensão, mitigando alguns dos efeitos sobre o canal que podem advir de uma disposição irregular dos condutores.

B. Modem PLC

Empregamos o modem PLC TP-Link modelo AV600, que utiliza HPAV2. Através de testes e medições preliminares, foi possível concluir que sua faixa de frequência de trabalho é entre 1,8 e 70 MHz (Figura 2.a e Figura 2.b), ligeiramente abaixo do HPAV2 padrão. A primeira faixa, equivalente ao HPAV1, possui largura de 1,8-30 MHz (Figura 2.a), e a segunda faixa, estendida do HPAV2, possui largura de 30-70 MHz (Figura 2.b).

C. Sondas de Captura

Utilizamos três conjuntos de captura, ou sondas, para obter o sinal PLC pra esse estudo (Figura 3). As sondas são compostas de um filtro passa-altas, um analisador de espectro RSA306 da Tektronix e um PC com o software SignalVU. Elas foram

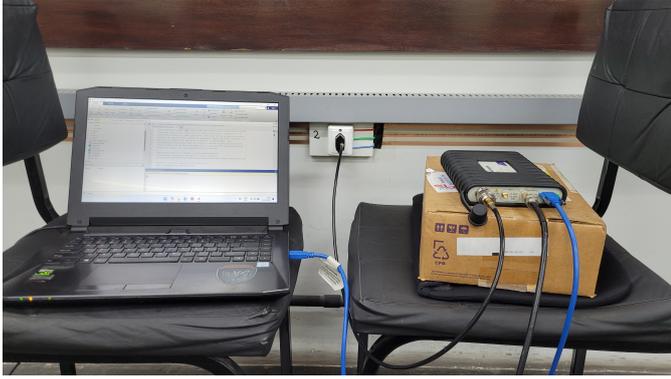


Fig. 3: Conjunto de sonda: Filtro Passa Alta, RSA306 e PC com SignalVU.

dispostas em três pontos de coleta, conforme o diagrama da sala na Figura 4, numerados de 1 a 3.

1) *Filtro Passa-Alta*: O filtro passa-alta (Figura 5) suprime a frequência da rede e outras componentes abaixo da frequência de corte de 1,5 kHz dos modems PLC HPAV2, mantendo o corte mais próximo possível dos 1,8 MHz. O acoplamento é isolado usando o transformador TC1-1+, da fabricante MiniCircuits. Cada sonda é disposta numa caixa plástica impressa em 3D e o circuito foi confeccionado de forma personalizada.

2) *Analizador de Espectro*: O analisador RSA306 da Tektronix captura o sinal PLC e através do software proprietário SignalVu entrega o espectro a um computador. A Tabela I mostra os parâmetros utilizados no RSA306 na realização da análise espectral. O tempo de aquisição de $40,96 \mu s$ é baseado em uma solução de compromisso, proporcionando uma janela temporal suficientemente grande para a medição do comprimento dos símbolos OFDM e maximizando a quantidade de amostras por unidade de tempo. O símbolo OFDM capturado pelo RSA306 é amostrado em fase e quadratura à taxa de 56 MHz com comprimento de 2294 amostras em $40,96 \mu s$. A frequência inicial é igual a 30 MHz, com uma largura de banda de 40 MHz, chegamos a 70 MHz, o limite superior do HPAV2. O nível de referência de 0 dBm foi escolhido após uma análise prévia, para evitar a saturação do conversor analógico-digital de entrada.

TABELA I: Configuração da análise espectral realizada nas sondas (RSA306).

f. inicial	banda	tempo aquis.	nível de ref.
30 MHz	40 MHz	$40,96 \mu s$	0,00 dBm

3) *Trigger*: A captura das sondas é sincronizada por pulsos TTL. Os pulsos são gerados por um microcontrolador *Arduino Sparkfun Pro Micro*. O microcontrolador entrega o sinal de trigger para cada um dos RSA306 através de cabos coaxiais em paralelo, a fim de mitigar erros de tempo de aquisição entre as sondas.

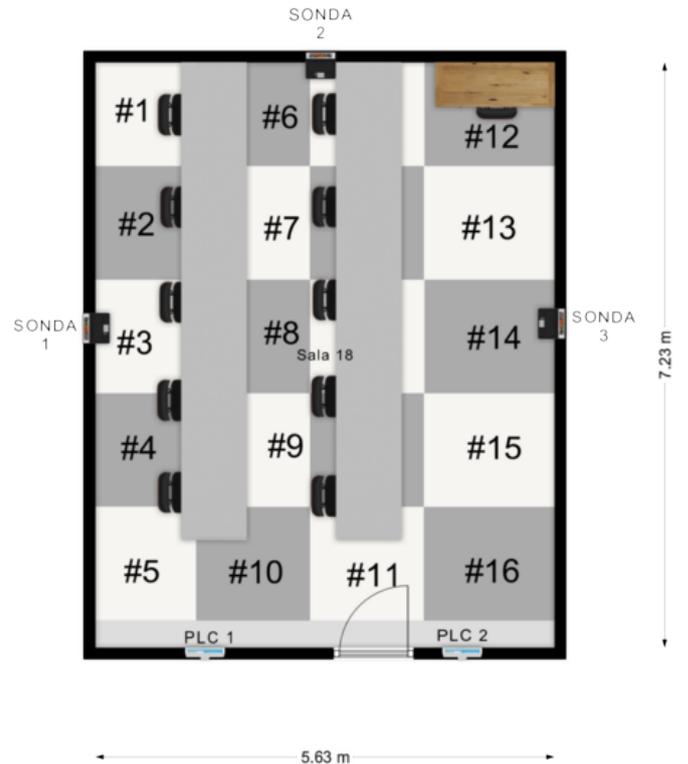


Fig. 4: Planta baixa do ambiente com as indicações dos pontos onde os modems PLCs e as sondas estão conectados; além disso, a figura traz marcados as regiões nas quais a pessoa se posiciona.

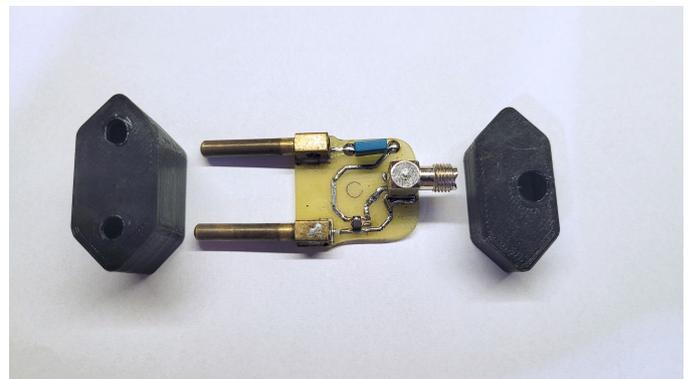


Fig. 5: Filtro passa-altas com frequência de corte de 1,5 kHz.

D. Ocupação do Canal

Para que o canal de comunicação PLC tenha alta ocupação, próxima a 100%, utilizamos o software IPERF. Através dele, gera-se um tráfego ininterrupto com a maior taxa possível, nesse caso, o mais próximo possível a 100 Mbps. Esse é o valor teórico máximo da porta FastEthernet dos PLCs modelo AV600. Durante as medidas, a taxa de transferência média ficou em torno de 90 Mbps.

III. RESULTADOS

A sala foi dividida em grade, com as regiões onde a pessoa (corpo) pode estar, que foram numerados de #1 a #16,

como mostra a Figura 4. As medições foram executadas na faixa estendida do HPAV2. Essa faixa compreende valores de entre 30 e 70 Mhz com comprimento de onda entre 4 e 10 metros, aproximadamente. Essa faixa de comprimento de onda possibilita acoplamento com o corpo humano, principalmente nos valores centrais de frequência, em torno de 50 MHz. Se considerarmos alturas entre 1,50 e 1,90 m, teremos aproximadamente $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda entre 40 MHz e 50 MHz. A interação do corpo humano com a linha pode alterar o canal e o sinal PLC suas portadoras. Assim, medimos as portadoras OFDM em cada uma das três sondas. Exemplos das medidas estão dispostos nos gráficos da Figura 7, sempre comparadas com as medidas de sala vazia.

Na Figura 6, apresentamos três gráficos de barra que trazem o cálculo da média das potências médias simples dos espectros das Figs. 7(d), 7(e) e 7(f), obtidas via

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

onde \bar{x} é a média simples, x_i valores das amostras e n o número de amostras. As médias são calculadas em Watt e, posteriormente, convertidas em dBm.

Fizemos capturas do sinal PLC com a sala vazia e com a sala ocupada pela pessoa em cada uma das 16 regiões, são 150 medidas em cada umas das 17 situações, totalizando 2550 medidas. As 17 sequências de 150 medições foram processadas uma a uma, resultando na média da potência. As Figs. 7(a), 7(b) e 7(c) trazem a representação da potência máxima medida em cada um dos pontos para cada uma das 17 situações. Como segundo passo, calculamos a média de todas as portadoras, resultando em um valor único. Essa abordagem tem a intenção de estudar o comportamento dos níveis médios em cada sonda, com a pessoa em cada uma das 16 regiões em que a sala foi dividida.

Na Figura 6(a) referente à sonda 1, vemos uma linha na cor preta representando a média para a sala vazia. As barras estão em ordem, seguindo a numeração apresentada na Figura 4, da esquerda para a direita. É possível observar que em nenhum caso, ou seja, para nenhuma região onde a pessoa está, o nível médio é maior que o nível médio quando a sala está vazia. Com algumas exceções, também podemos observar que, quando a pessoa está em regiões mais próximas às paredes, o sinal parece apresentar média menor. As Figuras 6(b) e 6(c), referentes às sondas 2 e 3, respectivamente, comportam-se diferentemente da sonda 1, justificado pelo posicionamento do sensor em pontos distintos ao longo da linha de comunicação entre os modems PLC.

Nas Figuras 7(e) e 7(f), as medições se apresentam de forma distinta. Na sonda 2 (Figura 7(e)), as médias têm valores abaixo e acima da média para sala vazia. Além disso, os valores ficam na faixa de -59 dBm a -55 dBm, abaixo da faixa capturada pela sonda 1 (-50 dBm a -45 dBm).

A sonda 3 (Figura 7(f)) apresenta um comportamento muito semelhante ao da sonda 1. A média com a pessoa em qualquer região nunca é mais alta que quando a sala está vazia. No entanto, essa média não se apresenta na mesma faixa de valores; neste caso, está mais próxima dos valores obtidos pela sonda 2, variando de -56 dBm a -54 dBm.

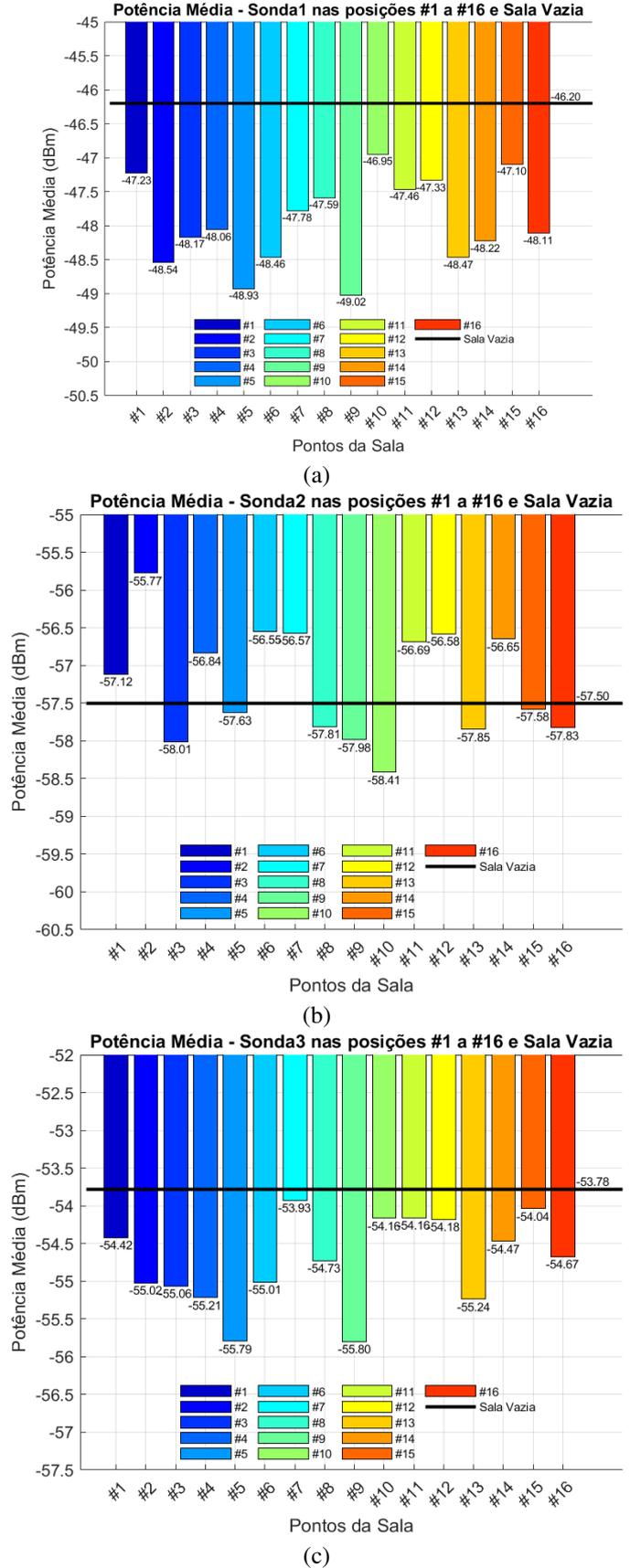


Fig. 6: Valores médios dos espectros de potência média com ocupação de cada região por uma pessoa, comparadas com o valor médio do espectro de potência média obtido com a sala vazia.

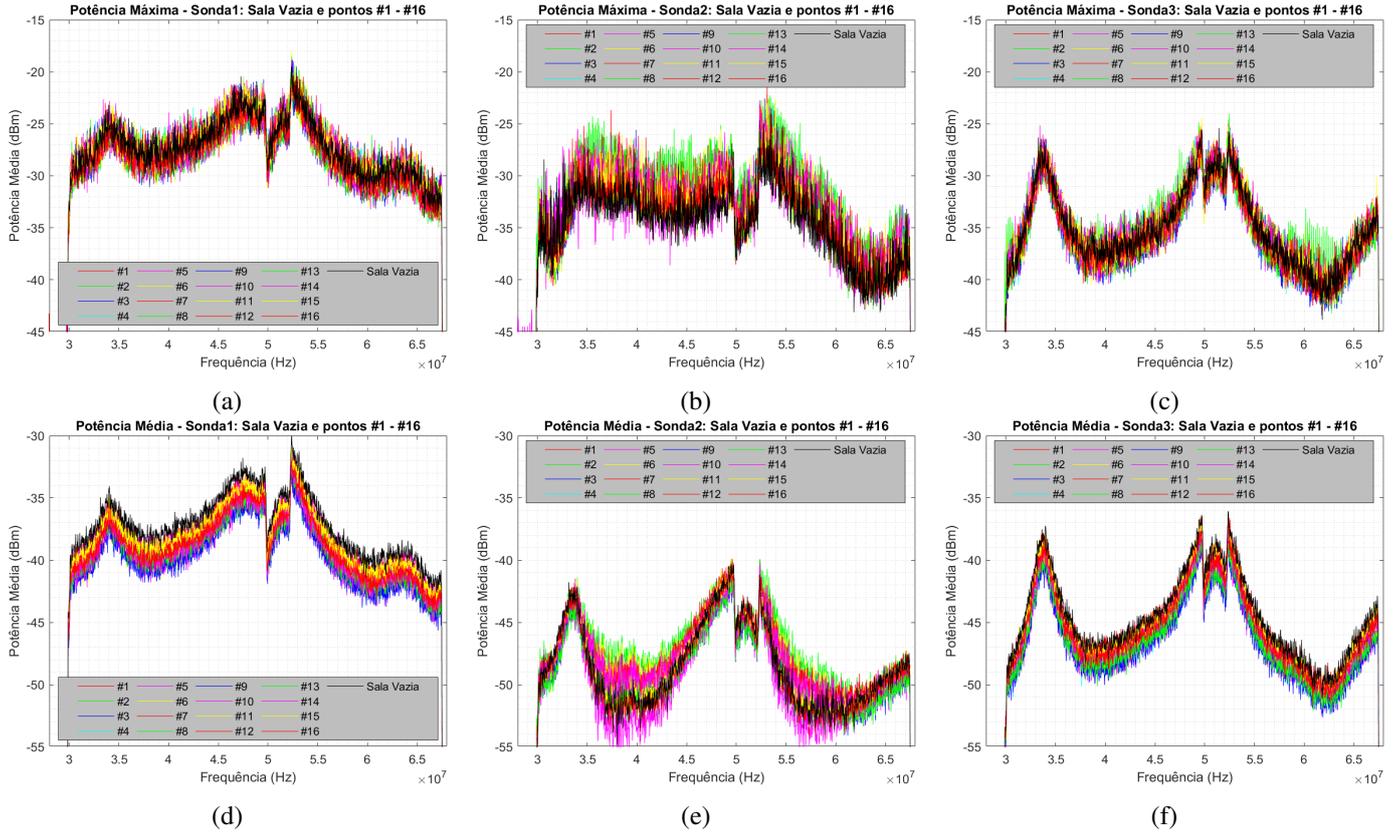


Fig. 7: Espectros de potências máxima (acima) e média (abaixo) com uma pessoa nas 16 regiões e com a sala vazia (em preto), referentes às sondas 1, 2 e 3, respectivamente.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo preliminar para avaliar se alterações no canal PLC, avaliadas a partir da potência de portadoras OFDM, permitem detectar a presença de uma pessoa passivamente. Com base nos resultados obtidos, foi possível quantificar a influência do corpo humano nas portadoras OFDM. Esses valores demonstraram alterações significativas na potência média em função da presença e da posição de uma pessoa numa sala. A partir dessa observação, podemos concluir que a detecção passiva da presença é viável a partir de redes PLC em ambientes internos. A comparação entre a potência média na sala vazia à da sala ocupada indica clara influência de um corpo humano na potência das portadoras OFDM, isto é, sobre o canal PLC. As mudanças nos níveis de potência média entre as diferentes sondas e entre as diferentes posições da pessoa não apenas tornam a detecção de presença possível, mas também sugerem a possibilidade de utilizar a mudança no canal PLC para estimar a posição da pessoa. Futuramente, pretende-se analisar como implementar um sistema capaz de prover uma estimativa da posição espacial da pessoa usando essa informação.

REFERÊNCIAS

- [1] LOVISOLO, L.; CRUZ-ROLDÁN, F.; BLANCO-VELASCO, M. *On Power Line Positioning Systems*. Sensors (Basel, Switzerland), v. 22, n. 20, p. 7827, 14 out. 2022.
- [2] SEYED REZA ZEKAVAT et al. *An Overview on Position Location: Past, Present, Future*. International Journal of Wireless Information Networks, v. 28, n. 1, p. 45–76, 1 mar. 2021.
- [3] PATEL, S. N.; TRUONG, K. N.; ABOARD, G. D. *PowerLine Positioning: A Practical Sub-Room-Level Indoor Location System for Domestic Use*. p. 441–458, 17 set. 2006.
- [4] CAMPOS, R. S.; LOVISOLO, L. *RF Positioning: Fundamentals, Applications, and Tools*. Norwood: Artech House, 2015.
- [5] REZA ZEKAVAT; R. MICHAEL BUEHRER. *Handbook of Position Location*. [s.l.] John Wiley & Sons, 2019.
- [6] LATCHMAN, H. A. *Homeplug AV and IEEE 1901: a handbook for PLC designers and users*. Hoboken, New Jersey: IEEE Press/Wiley., 2012.
- [7] GALLI, S.; SCAGLIONE, A.; WANG, Z. *For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid*. Proceedings of the IEEE, v. 99, n. 6, p. 998–1027, jun. 2011
- [8] CANO, C. et al. *State of the Art in Power Line Communications: From the Applications to the Medium*. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 34, n. 7, p. 1935–1952, jul. 2016.
- [9] HomePlug Powerline Alliance. *HomePlug™ AV2 Technology Raising the Bar for Sustained High-Throughput Performance and Interoperability for Multi-stream Networking Using Existing Powerline Wiring in the Home*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://content.codico.com/fileadmin/media/download/datasheets/powerline-communication/homeplug-av-av2/homeplug-av2-whitepaper.pdf>>. Acesso em: 13 Abr. 2024.
- [10] DAS CHAGAS, A. O.; LOVISOLO, L.; TCHEOU, M.P.; SOUZA FILHO, J.B.O. *A proposal for fall-risk detection of hospitalized patients from wireless channel state information using Internet of Things devices*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 133, julho 2024. Doi: 10.1016/j.engappai.2024.108628.
- [11] MOORE, J. B. *Powerline Perching with a Fixed-Wing UAV* AIAA Infotech@Aerospace Conference, 6 abr. 2009.