



## BLINDAGEM CONTRA INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS PROVINIENTES DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO PLC

**Murillo Vieira dos Santos<sup>1</sup>**

**Eliézer Alves Teixeira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>IFG/Campus Jataí/Bacharelado em Engenharia Elétrica - PIBITI, murisantosifg@gmail.com

<sup>2</sup>IFG /Campus Jataí/Departamento de Áreas Acadêmicas, eliezer.teixeira@ifg.edu.br

### Resumo

O PLC (*Power Line Communication*) é um sistema de comunicação capaz transmitir dados, voz e imagens através da rede de energia elétrica sem a necessidade de altos custos operacionais. A principal ideia do PLC é a redução dos gastos com a instalação de uma nova rede de comunicação. Entretanto, o PLC comporta-se como uma fonte de ruído (interferência eletromagnética) para sinais na mesma faixa de frequência (1,705 a 80 MHz). Baseando-se nesta característica, o presente projeto de pesquisa foi realizado com o objetivo de desenvolver uma blindagem metálica capaz de atenuar as interferências geradas pelo PLC em outros sistemas. Neste sentido foram analisados os metais, que são materiais condutores de energia elétrica, e são utilizados como blindagens para a proteção de dispositivos contra interferências eletromagnéticas. O PLC se apresenta como uma alternativa para a criação de uma rede de comunicação, e poderá ser utilizado em maior número se forem atenuadas as interferências em outros sistemas.

**Palavras-chave:** Power Line Communication. Interferência eletromagnética. Blindagem metálica.

### POWER LINE COMMUNICATION

O sistema de comunicação *PLC* (*Power Line Communication*) se apresenta como um novo meio de transmissão de informações sem a necessidade de altíssimos custos com construção e instalação de novos equipamentos, pelo fato de utilizar a rede de energia elétrica como meio de transmissão. Vários sinais (dados, voz e vídeos) são transmitidos através da rede elétrica em total harmonia, pois a frequência de atuação do *PLC* é de 1,705 a 80 MHz, enquanto a energia elétrica está na faixa entre 50 e 60 Hz.

Tecnologia de comunicação, que utiliza a rede de energia elétrica, em baixa ou média tensão, operando dentro da faixa de 1,705-80 MHz, para prover serviços de comunicação de dados, voz e vídeo, em diversas aplicações: conexão à internet, telemetria, segurança, voz sobre *IP*, etc. (MARTINHÃO, 2007, pg. 3).

Desde 1920 já era utilizada a transmissão de informações de sinais pela rede de energia elétrica, que passavam por uma modulação analógica antes de serem distribuídos. Os serviços mais utilizados eram comunicação de voz. O *PLC* é utilizado para muitas aplicações, e é classificado em dois grupos distintos dependendo da velocidade de transmissão de dados:

- *Narrowband PLC*: Neste grupo o *PLC* é utilizado para serviços de comunicação com baixa de transferência de arquivos (acima de 100 *kbps*), principalmente na automação e controle em canais de voz.

- *Broadband PLC*: Oferece altas taxas de transferências (acima de 2 *Mbps*) para muitos serviços de comunicação como telefonia, transferência de sinais de vídeo e acesso à internet.

## INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

O PLC se mostra como um sistema de comunicação mais barato em comparação com outras tecnologias utilizadas. O principal uso do PLC é no acesso à internet caracterizado pelo Broadband PLC, que apresenta altas velocidades de transferência de dados e banda larga de frequências. Mas através do uso do PLC se notou uma característica negativa do PLC que inviabilizou o seu uso: o PLC se comporta como uma fonte de ruído para outros sistemas que operam na mesma faixa de frequência.

Estes sistemas sofrem interferências que corrompem as informações que são recebidas. Entre estes sinais que são influenciados pelo uso do PLC, podemos citar: radiodifusão, radioamador e serviços de comunicação das forças armadas (radiolocalização, radionavegação, serviço móvel marítimo). Todos estes sinais estão localizados na banda de 1 a 30 MHz que corresponde à banda de atuação da maioria dos modems PLC.

O OFCOM (Office of Communication) é o órgão regulador das telecomunicações no Reino Unido, como a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) aqui no Brasil. Em 2009, o OFCOM recebeu 143 casos de interferência do PLC principalmente de radioamadores, onde 121 casos foram investigados e 104 foram resolvidos pelo fornecedor. Todas as queixas se resumiam em um único motivo: a intensa interferência eletromagnética na faixa de HF (3 a 30 MHz).

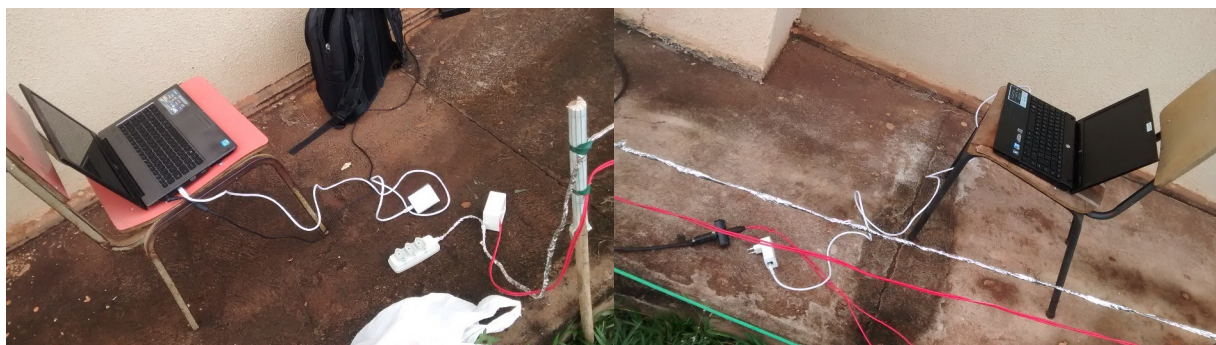
Esse ruído que é gerado pelo PLC e interfere em outros sistemas é chamado de interferência eletromagnética, que é uma energia irradiada em forma de campo elétrico e magnético e pode interferir diretamente no funcionamento de muitos dispositivos. O principal objetivo deste trabalho é estudar, testar e implementar uma blindagem que será elaborada através de um material metálico que faça com que as interferências indesejáveis geradas pelo sistema PLC, sejam extintas. Fazendo com que o mesmo, seja distribuído pelas linhas de transmissão, em “harmonia” com os outros sinais na mesma faixa de frequência.

Para o desenvolvimento da blindagem é necessário primeiro conhecer o espectro eletromagnético do modem PLC AV200 NANO POWERLINE ADAPTER que é o modem utilizado neste trabalho. Este modem apresenta uma alta velocidade de transferência de dados (200 Mbps) e pode ser usado para acesso à internet ou transferência de dados, voz ou vídeo. O modem é mostrado na *figura 1*.



**Figura 1: Modem PLC AV200 NANO POWERLINE ADAPTER.**

Para comprovar a interferência eletromagnética que prejudica outros sinais, foi criada uma rede entre dois computadores com o objetivo de analisar a intensidade do sinal e também a faixa de atuação (frequência) do modem PLC. Essa rede foi criada em local aberto com o intuito de analisar a existência de outros sinais que poderiam ser prejudicados com o uso do modem PLC. A *figura 2* mostra a rede de comunicação criada entre dois computadores para a análise do espectro eletromagnético com o uso do PLC.



**Figura 2:** Criação de uma rede entre dois computadores através do PLC.

Com a criação da rede, foi feito o compartilhamento de um sinal de vídeo entre os dois computadores para a análise da atuação do modem PLC, através do espectro eletromagnético. A *figura 3* mostra o espectro eletromagnético sem o uso do PLC, e a *figura 4* mostra o espectro com o uso do modem PLC.



**Figura 3:** Espectro eletromagnético sem o uso do PLC na faixa de 1,705 a 80 MHz.



Figura 4: Espectro eletromagnético com o uso do PLC na faixa de 1,705 a 80 MHz.

Com uma simples análise nas duas figuras acima, é imprescindível a notável interferência eletromagnética que acontece quando o PLC é usado. Acontece um grande aumento na intensidade do sinal em dBm com o uso do PLC em comparação com o espectro eletromagnético natural, sem o uso do PLC. A *tabela 1* nos mostra os valores de potência dos sinais captados para várias faixas de frequência sem e com o uso do PLC.

Tabela 1: Potência do sinal sem e com o uso do PLC de 6 a 30 MHz.

	Frequência (MHz)	6	10	20	30
Intensidade do sinal (dBm)	Espectro natural	-62	-76,5	-79,3	-78,6
	Com PLC	-30,3	-44,9	-40,1	-52
	Aumento com o Uso do PLC	31,7	31,6	39,2	26,6

Todos valores são dados em dBm e no aumento com o uso do PLC, os valores da potência dos sinais são valores absolutos para a análise do aumento da potência com o uso do PLC. Com esta primeira medição foi comprovada a interferência eletromagnética que o PLC pode causar em outros sinais, fazendo com que os mesmos não transmitam a informação de maneira correta.

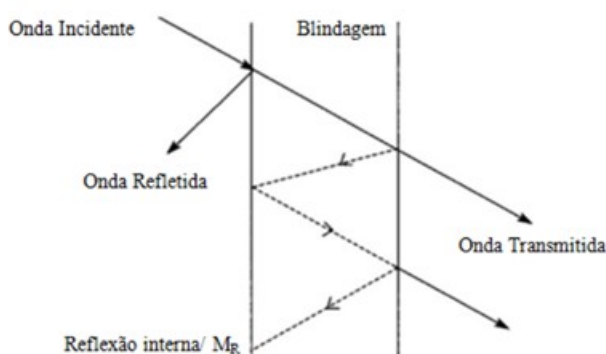
## BLINDAGEM METÁLICA

Uma das opções mais utilizadas principalmente em meio industriais para a proteção de dispositivos elétricos ou eletrônicos contra interferências eletromagnéticas é a blindagem metálica. Os metais podem refletir ondas eletromagnéticas devido a sua alta condutividade elétrica e por essa característica são usados como blindagem eletromagnética. “Uma blindagem

eletromagnética é uma partição metálica localizada entre duas regiões do espaço a fim de controlar a propagação de campos eletromagnéticos de uma região para outra” (SARKIS, 2000, pg. 1). O objetivo principal é criar uma blindagem metálica que seja eficiente na atenuação de campos eletromagnéticos que são gerados pelo PLC. Para a criação da blindagem metálica, é necessário embasamento teórico para explicação dos fenômenos que ocorrem quando um campo eletromagnético incide um material condutor.

Os materiais condutores têm uma baixa resistividade por apresentarem um maior número de elétrons livres na Camada de *Valência*, que se locomovem com bastante facilidade no metal por não apresentarem uma forte ligação aos núcleos atômicos. Quando uma onda eletromagnética tenta penetrar no interior de um condutor, os elétrons livres são novamente estruturados fazendo com que o campo elétrico seja refletido pelo material.

Como o campo elétrico é refletido, ele não poderá gerar um campo magnético e assim não existirá uma onda eletromagnética no interior do condutor. Mas só aconteceria isto se o material tivesse uma resistividade nula, o que não acontece nos condutores reais. Todos os materiais que se tem conhecimento no mundo, apresentam uma resistividade mesmo ainda que seja mínima como no caso do ouro e da prata. Os materiais condutores fazem com que uma grande parte do campo elétrico das ondas eletromagnéticas que os incidem, seja refletida; mas mesmo assim existirá um campo elétrico transmitido ao interior do condutor devido a resistividade do material. Esse fenômeno é chamado de reflexão de uma onda eletromagnética. A *figura 5* mostra a reflexão de uma onda eletromagnética quando a mesma incide uma blindagem metálica.



**Figura 5 - Incidência de uma onda eletromagnética em uma blindagem metálica.**

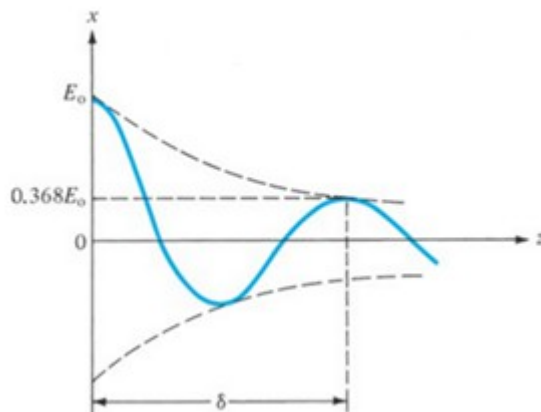
A onda eletromagnética tenta ultrapassar o condutor e ao mesmo tempo, o seu campo elétrico é refletido fazendo com que sua amplitude seja atenuada. Esse fenômeno é chamado de Efeito Pelicular (Efeito Skin). Quando a amplitude do campo elétrico chega a 37% do valor inicial, dizemos que ele alcançou a profundidade pelicular do meio condutor e sofreu uma atenuação de 63% devido a reflexão. A *figura 5* mostra a atenuação do campo elétrico que acontece conforme ele incide um material condutor.

Um dos objetivos deste trabalho era testar vários materiais metálicos que seriam opções para blindagens, mas isso não foi possível pois a confecção de uma blindagem metálica acoplada à rede de energia que pode atenuar a interferência eletromagnética do PLC; é um estudo novo e não há nenhuma bibliografia com este assunto. A opção utilizada como blindagem foi uma fita aluminizada que também é utilizada em dispositivos eletrônicos a fim de inibir as interferências





eletromagnéticas. A *figura 6* mostra a fita aluminizada que foi utilizada como blindagem metálica.



**Figura 5 - Atenuação do campo elétrico  $E$  com o aumento da profundidade de penetração pelicular do meio condutor.**



**Figura 6 – Fita aluminizada: 45m x 44mm x 40 $\mu$ m.**

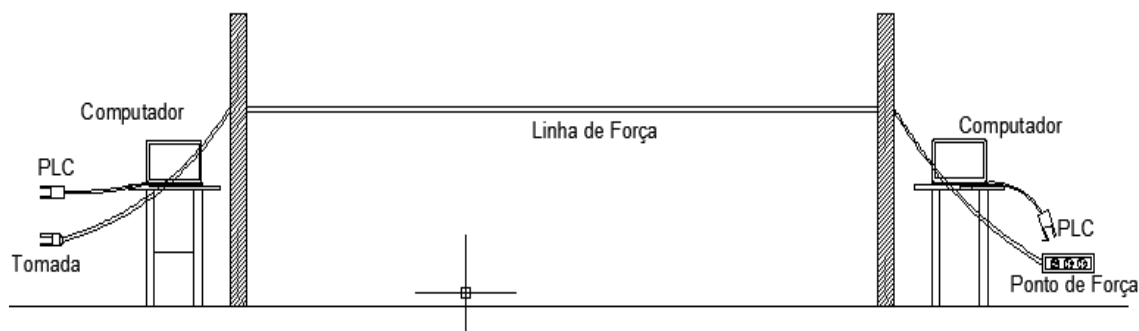
## TESTES COM A BLINDAGEM METÁLICA

A escolha da blindagem foi a parte mais difícil do projeto pois como já disse antes, não existe nenhum estudo onde uma blindagem metálica é utilizada para atenuação da interferência eletromagnética gerada pelo PLC. Após a escolha da blindagem, era hora de criar um ambiente onde se pudesse analisar o efeito do PLC sobre outros sinais sem e com o uso da blindagem metálica. A *figura 7* mostra um esquema que representa o ambiente para medição do espectro eletromagnético do PLC e outros sinais em um ambiente aberto.

Os primeiros testes feitos no mês de março e de maio, não foram satisfeitos por causa do uso de antenas inadequadas para a captação do espectro eletromagnético. Abaixo são mostradas algumas figuras que mostram os resultados encontrados nestes primeiros testes.

Ainda no mês de maio, foram feitos mais testes para testar a efetividade da blindagem metálica, agora com uma antena adequada. Os testes foram feitos em um ambiente aberto para a adequada captação de outros sinais que não foram captados de forma correta nos outros testes, por eles serem feitos em um local fechado (dentro de um laboratório). Outra dificuldade encontrada neste projeto foi a definição da faixa de atuação do modem PLC AV200 NANO

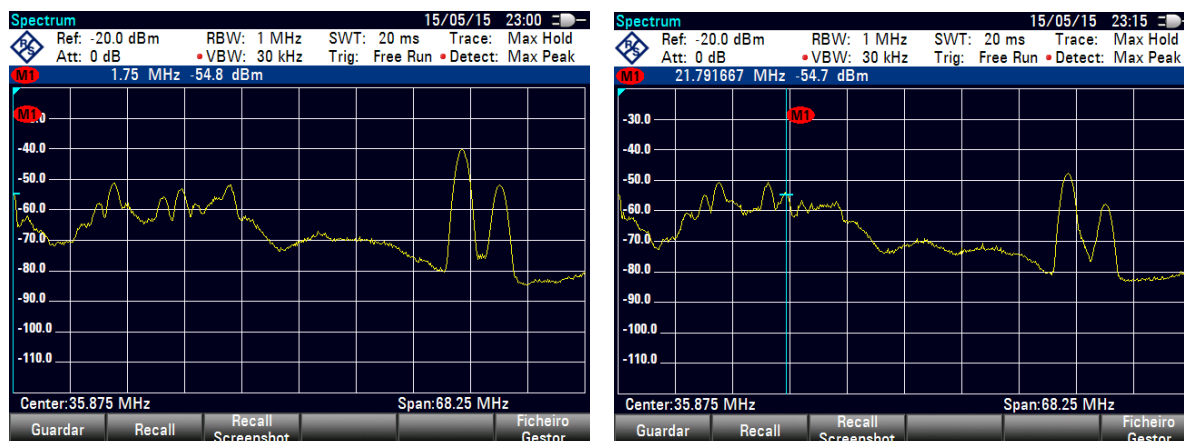
POWERLINE ADAPTER, que foi utilizado neste trabalho. Para análise da interferência do PLC em outros sinais é necessário saber em qual banda de frequência o aparelho está atuando para analisar se a blindagem é efetiva e consegue atenuar a potência do sinal nesta faixa de frequência.



**Figura 7: Estrutura para medição do espectro eletromagnético com o uso do PLC.**



**Figura 8 – Testes feitos no dia 21/03/15.**



**Figura 9 – Testes feitos no dia 15/05/15.**

Esta informação foi procurada em todo tipo de documento na internet, sem êxito, e como última solução foi enviada um e-mail para a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e também para o fornecedor deste produto: a TP-LINK. A empresa TP-LINK não respondeu o e-mail e nem enviou algum esclarecimento, e a ANATEL pediu que o aparelho fosse verificado o número de homologação, e se caso não fosse encontrado, um novo pedido seria aberto para a parte de fiscalização.

Através dos testes feitos, se pode averiguar um grande aumento da potência do sinal em uma faixa de aproximadamente 5 a 27 MHz. A grande maioria dos modems PLC tem atuação de 1 a 30 MHz que é a faixa regulamentada pela ANATEL. Mas pudemos perceber um aumento na potência do sinal também outras faixas no espectro de 1,705 a 80 MHz, mas não é tão prejudicial como na faixa de 5 a 27 MHz.

As figuras abaixo mostram a criação de uma rede de comunicação entre dois computadores através do PLC, para medição do espectro eletromagnético com o uso do PLC e da blindagem em um local aberto.



**Figura 10 – Criação de uma rede entre dois computadores.**



**Figura 11 – Cabo sem blindagem (vermelho) e cabo blindado.**

Para a análise do espectro eletromagnético sem e com o uso do PLC, utilizamos o cabo vermelho que não está blindado com a fita aluminizada. O cabo acima do vermelho foi blindado com a fita para ser testado. Esta estrutura utilizada representa as instalações internas de nossa casa. Como é mostrado na *figura 7*, cada modem PLC é conectado a um computador que se localiza em uma das extremidades da estrutura. Todos os testes foram feitos através desta estrutura.

O primeiro teste realizado com a blindagem no dia 29/05/2015 foi feito utilizando esta estrutura e uma blindagem com espessura de 80 µm que representa 2 camadas da fita



aluminizada, que tem uma espessura de 40  $\mu\text{m}$ . O segundo teste foi feito do dia 24/06/2015, a blindagem utilizada tem uma espessura 160  $\mu\text{m}$  (4 camadas da fita aluminizada).

## RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados das medições foram analisados para verificar a eficácia da blindagem. A *tabela 2* nos mostra os resultados das medições realizadas no dia 29/05/2015, onde foi utilizada uma blindagem de 80  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 2: Medições do espectro natural, espectro eletromagnético com PLC, com PLC e blindagem e o**

	Frequência (MHz)	6	10	20	30
Intensidade do sinal (dBm)	Espectro natural	-62	-76,5	-79,3	-78,6
	Com PLC	-30,3	-44,9	-40,1	-52
	Com PLC e blindagem	-32,9	-46,2	-43	-51
	Atenuação	2,6	1,3	2,9	-1

Para análise utilizamos todo a faixa de frequência regulada para o uso do PLC: de 1,705 a 80 MHz. Como foi dito antes, este modem PLC atua aproximadamente de 5 a 27 MHz, e por isso estamos analisando na tabela a intensidade dos sinais de 6 a 30 MHz. É imprescindível o aumento na potência do sinal quando se utiliza o PLC em comparação com o espectro eletromagnético natural. Através dos valores da *tabela 2*, se pode ver que na faixa de 20 MHz há um aumento de quase 40 dBm, o que significa que o PLC gera um grande aumento na potência do sinal que interfere diretamente em outros sinais.

A blindagem foi utilizada em um cabo de força que era o meio de comunicação entre dois computadores através do PLC. Neste primeiro teste, se pode ver que a blindagem não se demonstrou muito eficaz por apresentar pequenos valores de atenuação da interferência gerada pelo PLC. As figuras abaixo, nos mostram o espectro eletromagnético com o uso do PLC sem a blindagem, e com o PLC e a blindagem.

A *tabela 3* nos mostra os resultados que foram obtidos no dia 24/06/2015 através dos testes com uma blindagem com espessura de 160  $\mu\text{m}$ . Neste dia as medições nos mostraram altos valores na potência do sinal em toda a banda de 1,705 a 80 MHz. Estes valores são mostrados na *tabela 3*, e isso se deve ao fato da captação de outros sinais que estão atuando nesta faixa de frequência. As *figuras 14 e 15* nos mostram o espectro eletromagnético das medições com o uso do PLC e da blindagem.



Figura 12 – Espectro eletromagnético com o uso do PLC, sem a blindagem no dia 29/05/2015.



Figura 13 – Espectro eletromagnético com o uso do PLC, com a blindagem no dia 29/05/2015.

Tabela 3: Medições do espectro eletromagnético com PLC, com PLC e blindagem e o espectro natural.

	Frequência (MHz)	6	10	20	30
Intensidade do sinal (dBm)	Espectro natural	-36,4	-48,1	-52,3	-46,7
	Com PLC	-12,2	-31,9	-38,1	-48,9
	Com PLC e blindagem	-19,6	-45,5	-50,9	-59,3
	Atenuação	7,4	13,6	12,8	10,4

Para essa espessura de blindagem podemos ver claramente através da *tabela 3*, que os resultados foram satisfatórios pois ocorreu uma grande atenuação do sinal gerado pelo PLC. O intuito deste trabalho é atenuar a interferência que o PLC pode gerar nos outros sinais, e isso pode ser visto quando a potência do sinal do PLC com a blindagem é menor do que a potência do sinal do PLC sem a blindagem. Os valores da atenuação são positivos para uma melhor análise de quantos dBm o sinal é enfraquecido conforme o aumento da blindagem. Os resultados são bem melhores do que comparados ao primeiro teste, pois a atenuação do sinal é bem mais eficaz. A menor atenuação ocorreu na faixa de 6 MHz (7,4 dBm) e podemos ver que a potência do sinal recebido com o uso da blindagem, é aproximadamente 5,5 vezes menor do que a potência do sinal recebido sem o uso da blindagem. Isto pode ser visto através da *tabela 4* que representa a relação entre a potência do sinal sem blindagem ( $P_{SB}$ ) e com blindagem ( $P_{CB}$ ), onde se pode ver

quantas vezes o sinal com a blindagem é menor do que o sinal sem a blindagem para a mesma faixa de frequência.



Figura 14 – Espectro eletromagnético com o uso do PLC e com a blindagem no dia 24/06/2015.



Figura 15 – Espectro eletromagnético com o uso do PLC, sem a blindagem no dia 24/06/2015.

Tabela 4: Relação entre a potência do sinal sem blindagem ( $P_{SB}$ ) e a potência do sinal com blindagem ( $P_{CB}$ ).

Frequência (MHz)	6	10	20	30
$P_{SB}/P_{CB}$	5,5	22,9	19,1	10,9

Para outras faixas de frequência, é fácil ver que a blindagem é eficaz pois alcançou valores ainda maiores na atenuação do sinal gerado pelo PLC, a potência do sinal do PLC com a blindagem é muitas vezes menor do que sem o uso da blindagem. Logo, a blindagem metálica é uma solução como meio para a atenuação da radio interferência gerada pelo PLC em outros sinais.

Através do estudo desenvolvido podemos comprovar que um material condutor pode ser utilizado como blindagem para atenuação de ondas eletromagnéticas. A blindagem se mostrou eficaz quando utilizada na rede de energia elétrica para atenuação da interferência eletromagnética gerada pelo PLC. Esta foi uma solução barata e simples que poderá ser utilizada nas instalações elétricas residenciais com intuito de que o PLC seja realmente difundido entre os sistemas de comunicação.

## ESTUDOS FUTUROS

Este trabalho continuará em estudo para encontrar outros materiais que possam ser utilizados como uma blindagem metálica. Uma parte do objetivo principal era testar a blindagem e aplica-la para que o PLC pudesse ser utilizado em linhas de transmissão, mas para isso deve ser feito outro estudo pois utilizamos uma rede in-home. Outro quesito que deverá ser estudado é a aplicação do PLC em instalações elétricas que já foram implementadas, onde a aplicação da blindagem seria de extrema dificuldade e altos gastos.

## REFERÊNCIAS

CASSIOLATO, S. **EMI – Interferência Eletromagnética**. Disponível em: < <http://www.profibus.org.br/news/dezembro2005/news.php?dentro=3> > Acesso em: 22 de janeiro de 2015.

DANIELE, C. L. **Estudo da Gaiola de Faraday como Blindagem para Ondas Eletromagnéticas**. Disponível em: < [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2002/992700\\_CarlosDanieli\\_Faraday.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2002/992700_CarlosDanieli_Faraday.pdf) > Acesso em: 10 de maio de 2015.

FONTANA, E. **Eletromagnetismo – Parte II**. Disponível em: < <https://www.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap8.htm#mozTocId823299> > Acesso em: 05 de maio de 2015.

GOOGLE. **AV200 NANO POWERLINE ADAPTER KIT**. Disponível em: < [http://gadget-help.com/wp-content/uploads/2014/07/IMG\\_8329.jpg](http://gadget-help.com/wp-content/uploads/2014/07/IMG_8329.jpg) >. Acesso em: 24 de maio de 2015.

HRASNICA, H., HAIDINE, A., LEHNERT, R. **Broadband Power Line Communications: Network Design**. John Wiley & Sons, 2004.

MARTINHÃO, M. S. **PLC – Testes de Campo e Considerações da ANATEL**. In: WORKSHOP SOBRE POWER LINE COMMUNICATION (PLC), 03/05 a 04/05, 2007, Brasília – DF.

PAUL, R. C. **Introduction to Eletromagnetic Compatibility**. 1ª ed. Editora John Willey & Sons, 1992.

SADIKU, M. N. O. **Elementos de Eletromagnetismo**. 5ª ed. Editora Bookman, 2012.

SARKIS, C. D. **Blindagem Eletromagnética**. Disponível em: < <http://www.cpdee.ufmg.br/~jramirez/disciplinas/materiais/trab5.pdf> > Acesso em: 15 de abril de 2015.

SOUZA, F. **Ondas Eletromagnéticas e Linhas**. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/1868642/> > Acesso em: 15 de maio de 2015.

TEIXEIRA, E. A., et al. **Regulation Issues Relating to Broadband PLC: A Brazilian Experience and Perspective**. In: IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 26-28 March, 2007.