



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAFAEL CAVALCANTE DE LIMA

**COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE COMUNICAÇÃO
PELA REDE ELÉTRICA (PLC)**

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2014

RAFAEL CAVALCANTE DE LIMA

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE COMUNICAÇÃO PELA REDE ELÉTRICA (PLC)

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Comunicação pela rede elétrica

Orientador:

Professor Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2014

RAFAEL CAVALCANTE DE LIMA

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE COMUNICAÇÃO PELA REDE ELÉTRICA (PLC)

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Comunicação pela Rede Elétrica

Aprovado em / /

Professor Convidado
Universidade Federal de Campina Grande

Professor Alexandre Cunha Oliveira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família que sempre me deu todo amor e suporte necessário nessa longa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a meus pais, Carlos e Gilvânia, por todo amor e exemplo de força de vontade e dedicação, pela paciência e por todos os conselhos.

Agradeço também a minha irmã Camila, pela nossa irmandade, companheirismo e brincadeiras.

Agradeço ao meu sobrinho Zeca, por todos os momentos de lazer passado juntos e por estar sempre ao meu lado no desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço a minha companheira Alice, estando junto em todas as dificuldades e vitórias nesses anos de estudo. Por todo amor durante mais de 3 anos. Sem você não estaria aqui hoje.

Agradeço a família formada dentro dessa universidade pelos integrantes do período 2008.1, dos irmãos encontrados aqui Lucas Simões e Eugenio Pachelle, além dos grandes amigos Wellinson, Paola, Paixão, Maia, Babu, dentre tantos outros.

Agradeço ainda ao professor Alexandre, tendo sido um ótimo professor, orientador de monitoria e por fim orientador deste trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Este trabalho realiza um estudo sobre a comunicação de dados pela rede elétrica (PLC) seguida por uma análise experimental. Ao longo do trabalho é realizada uma revisão bibliográfica sobre os princípios de comunicação aplicados a comunicação pela rede elétrica, com foco nos tipos de modulação e técnicas de detecção de erros e minimização destes. Também é apresentada uma análise dos modems PLC com atenção a modelos dos dois principais padrões PLC existentes no mercado, PRIME e G3, sendo detalhadas as suas diferenças. A parte experimental consiste na utilização de kit de comunicação pela rede elétrica da *Texas Instruments* com padrão PRIME em diversas topologias de rede. Foram realizadas análises, em alguns cenários, onde foram determinadas a relação sinal ruído, a taxa de erro e o espectro de sinal enviado.

Palavras Chaves: Comunicação pela rede elétrica, PLC, PRIME, G3,

ABSTRACT

This paper makes a study about Power Line Communication(PLC), followed by experimental tests. A review about its principles of communication was made. Types of modulation and methods to reduce and detect errors were studied. Then, the commercial PLC modems from the two main PLC standard was made, PRIME and G3 are analyzed. followed by a comparison about these two methods. The experimental tests used the PLC communication kit from *Texas instruments* with PRIME standard. Tests were made in different grid topologies. At each of them variables such as Signal to Noise Ratio (SNR), error rate and frequency spectral were analyzed and compared.

Key Words : Power Line Communication(PLC), PRIME, G3

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Divisão de camadas de PLC. Fonte: IEEE Std 1901.2.....	3
Figura 2: Opções de modulação OFDM no plano complexo. Fonte: IEEE Std 1901.2.....	4
Figura 3: Diagrama em blocos de transmissão OFDM. Fonte: IEEE Std 1901.2.....	5
Figura 4: Acoplamentos indutivo para baixa e média tensão. Fonte: PLC Utilities Alliance , PUA (2004) 6	6
Figura 5: Acoplamentos capacitivo para baixa e média tensão. Fonte: PLC Utilities Alliance , PUA (2004)	6
Figura 6: Frequências PLC <i>narrowband</i> em diversos países. Fonte: IEEE Std 1901.2.....	7
Figura 7: Exemplo de <i>smart grid</i> . Fonte: Amin(2013).....	1213
Figura 8: Comunicação veicular multiplexada e utilizando PLC. Fonte: Rensburg at al(2003).....	14
Figura 9: Modem Kit Texas.	1546
Figura 10: Transformador utilizado em trabalho.	16
Figura 11: Analisador de espectros Agilent utilizado no trabalho.	1647
Figura 12: Tela da ferramenta <i>Zero configuration GUI</i>	17
Figura 13: Tela exemplo de análise no <i>Intermediate GUI</i>	18
Figura 14: Montagem para caso de rede limpa.	1920
Figura 15: Montagem para caso da rede convencional.....	20
Figura 16: Montagem para comunicação através de transformador	21
Figura 17: Espectro da rede com filtragem de ruídos.	2122
Figura 18: Espectro da rede elétrica. Fonte:Autor	22
Figura 19: Espectro de frequência em período de envio em rede livre de ruídos.	23
Figura 20: Tela do Intermediate GUI em momento de envio com rede livre de ruídos.	24
Figura 21: Espectro em período de envio na rede elétrica convencional.....	25
Figura 22: Tela do intermediate GUI em momento de envio com rede livre de ruídos.....	26
Figura 23: Tela do intermediate GUI em momento de envio através de transformador.....	2728
Figura 24: Espectro em transmissor.	2829
Figura 25: Espectro em receptor.....	2930

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

16QAM	16 - Quadrature amplitude Modulation
ABS	Anti- Lock Braking System
CAN	Controller Area Network
CENELEC	Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica - European Committee for Electrotechnical Standardization
D8PSK	Differential Eight-Ary Phase-Shift Keying
DBPSK	Differential Binary Phase Shifting Key
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shifting Key
ERDF	Électricité Réseau Distribution France
FEC	Métodos de correção de erros - Forward Error Correction
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MAC	Camada de enlace - Media Access Control
OFDM	Multiplexação ortogonal por divisão de frequência - Orthogonal frequency-division multiplexing
PHY	Camada Física
PLC	Comunicação pela Rede elétrica Power Line Communication
PRIME	PowerLine Intelligent Metering Evolution
RSSI	Indicação de magnitude de sinal recebido - Received Signal Strength Indication
SNR	Relação Sinal Ruido - Signal to Noise Ratio
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Ilustrações	viii
Lista de Abreviaturas e Siglas	ix
Sumário	x
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Motivação	2
2 Power Line Communication (PLC).....	3
2.1 Padrões de protocolo PLC.....	7
2.1.1 Padrão PRIME.....	8
2.1.2 Padrão G3	9
2.1.3 Comparação entre os padrões PRIME e G3	10
2.2 Aplicações.....	12
2.2.1 Redes Inteligentes (<i>Smart Grid</i>)	12
2.2.2 Veículos.....	13
3 Materiais e métodos.....	<u>1415</u>
3.1 Materiais	<u>1415</u>
3.1.1 KIT Texas	15
3.1.2 Elementos Auxiliares.....	<u>1546</u>
3.1.3 Ferramentas computacionais	<u>1647</u>
3.2 Métodos	<u>1849</u>
4 Resultados	21
4.1 Comunicação em rede com baixo índice de ruídos	<u>2223</u>
4.1.1 Comunicação pela rede elétrica convencional	<u>2425</u>
4.1.2 Comunicação através de transformadores.	27
5 Conclusão	<u>3034</u>
Bibliografia.....	<u>3132</u>

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de comunicação vem se tornando cada dia mais importante. Diversos métodos de envio e recebimento de dados estão em rápido processo de evolução e atualmente existem algumas tecnologias consolidadas, das quais pode-se destacar a comunicação através de fibra ótica, rede CAN e diversos métodos que usam tecnologia sem fio.

De forma geral todas as tecnologias de comunicação possuem características positivas e negativas. As fibras óticas tem como características positivas a elevada capacidade de transmissão, imunidade a ruídos elétricos, no entanto, possui um custo elevado de implantação. As tecnologias sem fio tendem a apresentar menores custos de implantação, de média para alta taxa de transmissão, no entanto, não são confiáveis em áreas com alta densidade de prédios, em aplicações subterrâneas (confinadas) e sofre forte ação de ruídos eletromagnéticos, bem como condições climáticas podem interferir no funcionamento dos sistemas. Em geral faz-se necessário implantar repetidores de sinal para estabelecer um LINK de comunicação entre duas localidades.

O uso das redes elétricas como meio de comunicação se apoia no fato de que o meio já está disponível, minimizando de forma significativa o custo de implantação dessas redes de comunicação, sendo assim, a comunicação pela rede elétrica (PLC – Power Line Communication) representa alternativa atraente a ser avaliada. O meio de comunicação que é a própria rede elétrica, não é influenciada pela presença de obstáculos, sendo implementada em qualquer local que apresente energia elétrica. Com isto, a presença de repetidores de sinais pode ser reduzida, a depender das condições da rede onde a comunicação PLC venha a ser implantada.

As redes de comunicação PLC já são uma realidade em alguns países da Europa, Espanha, Itália, por exemplo, apresentam resultados bastante positivos. Com o advento das redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*), a comunicação PLC deverá integrar o conjunto de tecnologias de transmissão de dados presentes nestas redes. Além dessa área de aplicação, outras estão sendo investigadas, como por exemplo em aplicações automotivas. Independente da área de aplicação, há desafios a serem superados relacionados ao uso do PLC, sendo estes principalmente relacionados aos ruídos presentes nas redes elétricas, CA ou CC, os quais podem ser de magnitude e faixa de

frequência semelhante ao do sinal de dados, podendo impedir completamente a comunicação.

No desenvolvimento deste trabalho serão abordados os princípios de funcionamento do PLC, a sua norma reguladora, suas principais aplicações e protocolos de envio de dados. Também será desenvolvido um trabalho de estudo da comunicação utilizando um kit de desenvolvimento da Texas Instruments, sendo analisadas características do sinal de dados em diversas condições da rede, através de um analisador de espectro. O trabalho será finalizado com as conclusões das atividades desenvolvidas e sugestões para o avanço das pesquisas nessa nova área.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a comunicação pela rede elétrica, apresentando desde conceitos teóricos à experimentos práticos que visam um entendimento maior sobre esta tecnologia e seu comportamento na rede elétrica brasileira. Pretende-se que os resultados apresentados a seguir possam auxiliar pesquisas futuras sobre este tema.

1.2 MOTIVAÇÃO

A tendência no aumento de controle de sistemas elétricos, com a presença de *smart grids*, impulsionam os estudos em formas de comunicação confiáveis e de baixo custo. Desta forma, o estudo de comunicação pela rede elétrica é um tópico a ser investigado na área de comunicação aplicada as redes elétricas.

Ainda são observadas poucas fontes de estudo neste tópico. Desta maneira, o trabalho desenvolvido poderá servir como base para pesquisa e ensino na UFCG, permitindo um maior contato dos estudantes e professores com o PLC.

2 POWER LINE COMMUNICATION (PLC)

O PLC ou comunicação pela rede elétrica é um tipo de comunicação que utiliza como meio de transmissão dos sinais os cabos de energia elétrica. A forma como é estruturado o canal de comunicação assemelha-se a outras tecnologias de comunicação, baseadas na estrutura ISO/OSI. No caso dos modems PLC comerciais, estes implementam as camadas Física (PHY) e MAC (Media Access Control), havendo modelos onde apenas a camada Física (PHY) é implementada. Na figura 1 é mostrado um diagrama das camadas de um modem PLC que segue o padrão IEEE 1901.2.

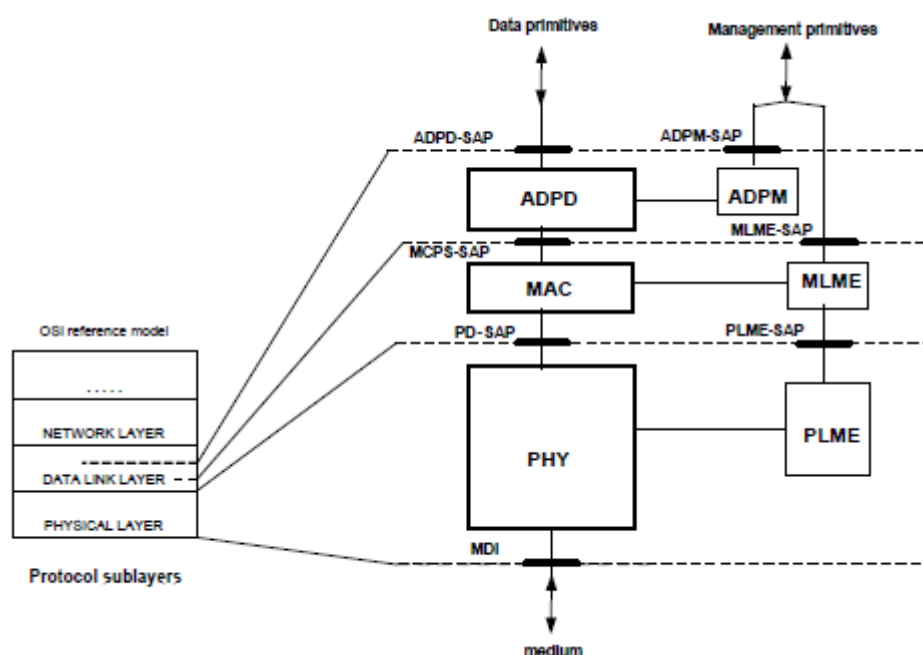


Figura 1: Divisão de camadas de PLC. Fonte: IEEE Std 1901.2

Neste trabalho, os estudos serão concentrados em dois padrões de PLC que atualmente concentram a atenção de concessionárias de energia e empresas produtoras de CI's, são esses os padrões PRIME e G3. Os modems de ambos os padrões implementam em suas respectivas camadas Físicas o esquema de modulação (OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), o qual pode operar com os esquemas de modulação: DBPSK, DQPSK e D8PSK. Os esquemas de modulação diferem entre si pelo número de portadoras utilizadas para transmissão de dados. Como pode ser observado na Figura 2 o esquema de modulação DBPSK apresenta duas portadoras, o DQPSK quatro portadoras e o D8PSK oito portadoras. O maior número de portadoras

permite um maior envio de dados, porém uma menor distância entre elas as tornam mais susceptíveis a influência dos ruídos presentes na rede, os quais podem afetar, simultaneamente, portadoras próximas.

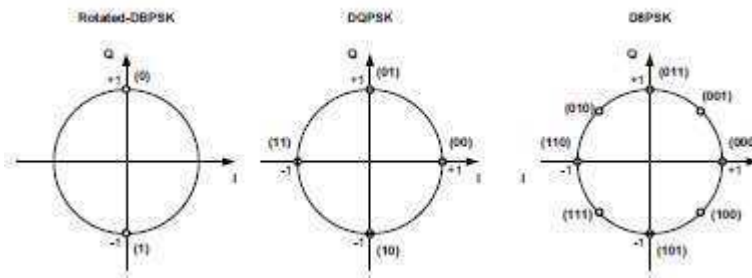


Figura 2: Opções de modulação OFDM no plano complexo. Fonte: IEEE Std 1901.2

O OFDM apresenta algumas vantagens que o torna adequado para comunicação pela rede elétrica. Dentre elas é válido destacar a capacidade de dividir a banda de frequência em vários sub-canais com portadoras ortogonais distintas entre si. Esta característica da modulação OFDM lhe confere uma grande robustez à interferência, no entanto, se nenhum processamento que identifique haver interferência em uma ou mais portadoras do OFDM for realizado, permitindo assim que portadoras obstruídas por interferência continuem sendo moduladas com dados a transmitir, então a capacidade de transmissão é significativamente afetada, podendo resultar na total perda de capacidade de comunicação.

Após o estágio de modulação, existe a presença de blocos para diminuição de erros na transmissão, os módulos de correção de erros (FEC), como por exemplo o *convolutional* encoder ou codificação convolucional.

A codificação convolucional é realizada através de uma transformação dos dados de entrada através da multiplicação do vetor de entrada por um vetor de transformação, como visto na Equação (1), descrita nas notas de aula de *Digital Communication System - MIT* (2010).

$$p_i(n) = \sum_{j=0}^{k-1} (g_i[j] x[n-j]) \text{ mod } 2 \quad (1)$$

Onde x são os dados de entrada e o vetor g são os parâmetros do filtro. O valor de $k-1$ indica quantos valores passados dos dados de entrada precisam ser salvos em memória para que os novos valores sejam encontrados. Desta forma, um valor elevado

de k indica a necessidade de uma maior capacidade de armazenamento e processamento. O valor de p corresponde ao novo valor de dado após a codificação.

Estes módulos agregam redundância no envio de dados, possibilitando assim uma maior taxa de sucesso na transmissão. Em sistemas onde há o reenvio de pacotes quando o transmissor não recebe a confirmação de recebimento de um pacote transmitido, a correção de erros no receptor tende a minimizar o processo de reenvio de pacotes. O diagrama de transmissão por modulação OFDM está detalhado na Figura 3.

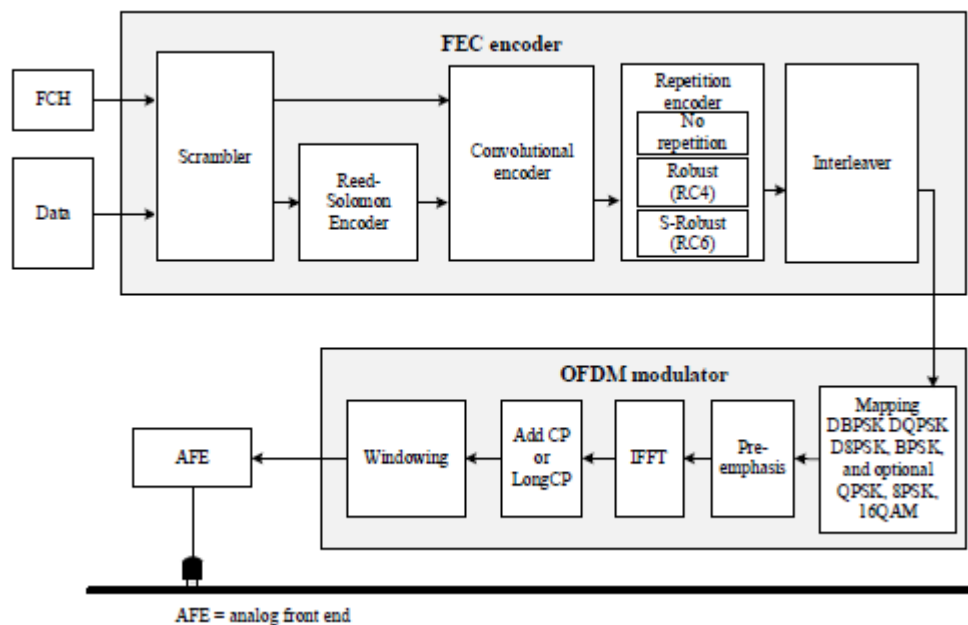


Figura 3: Diagrama em blocos de transmissão OFDM. Fonte: IEEE Std 1901.2.

Conforme descrito na norma IEEE Std 1901.2(2013), a geração do sinal OFDM é realizada pela Transformada Inversa Rápida de Fourier (FFT inversa) aplicada ao sinal gerado pelo dado a ser transmitido, já modulado segundo um dos três esquemas de modulação: DBPSK, DQPSK ou D8PSK.

Para realizar o acoplamento entre o circuito transmissor/receptor do modem PLC e a rede elétrica são utilizados acopladores que podem ser de dois tipos: indutivos e capacitivos. O primeiro não entra em contato direto com a linha, realizando o acoplamento por indução. O tipo indutivo encontra-se ilustrado para os casos de baixa e média tensão na Figura 4, o círculo em vermelho destaca o local exato do acoplamento.

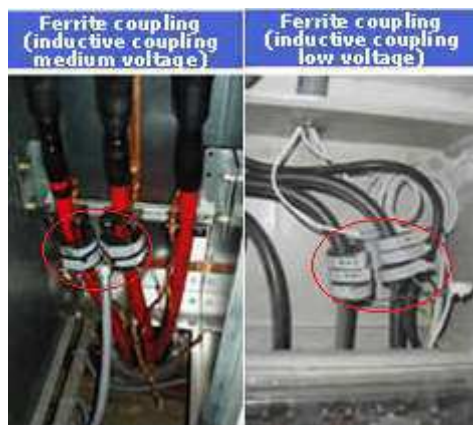


Figura 4: Acoplamentos indutivo para baixa e média tensão. Fonte: PLC Utilities Alliance , PUA (2004)

Por outro lado, o acoplamento capacitivo realiza contato físico com o cabo da rede elétrica. O seu acoplamento pode ser visto com detalhes nos círculos vermelhos da

[Figura 5](#) para os casos de baixa e média tensão,

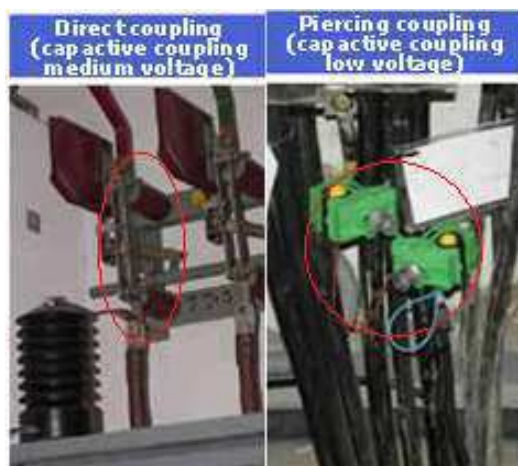


Figura 5: Acoplamentos capacitivo para baixa e média tensão. Fonte: PLC Utilities Alliance , PUA (2004)

A comunicação PLC se divide ainda em dois tipos de acordo com a faixa de frequência utilizada para envio: *broadband* e *narrowband*. A primeira realiza envio de dados utilizando frequência na ordem de 1MHz a 300 Mhz, apresentando deste modo taxa de envio de dados mais elevada. Todavia, há diversas restrições no uso desse tipo de comunicação, há restrições em diversos países para sua utilização em redes elétricas externas. É observado também que em longas distâncias são mais sensíveis a ruídos. Desta maneira, a comunicação *broadband* tornou-se restrita a comunicação e automação em interiores, não sendo objeto de estudo deste trabalho.

Por outro lado, a *narrowband* apresenta uma banda de frequência com valores mais baixos, na ordem de kHz, que variam de acordo com a regulação em vigor de cada país. Valores de banda de frequência para alguns países podem ser visto em detalhes na

[Figura 6](#) ~~Figura-6~~.

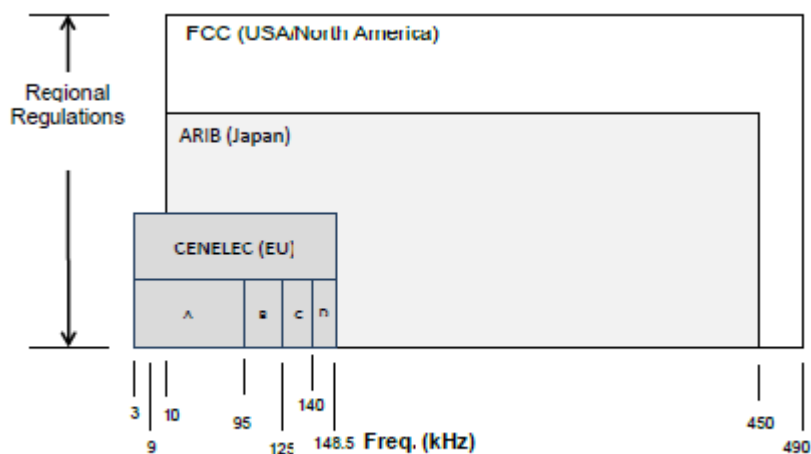


Figura 6: Frequências PLC *narrowband* em diversos países. Fonte: IEEE Std 1901.2.

Neste trabalho serão analisados os modems dos padrões PRIME e G3. Alguns modelos comerciais de modems G3 permitem uma configuração para operação em qualquer das faixas de frequência indicadas na figura 5. Como os modems PRIME são restritos a banda CENELEC A ou C, está será a banda de frequência analisada na sequência do trabalho. A banda CENELEC A está distribuída na faixa de frequência variando de 3kHz a 90 kHz. Valores relativamente baixos de frequência podem diminuir a taxa de envio de dados, porém aumentam a confiabilidade da comunicação, permitindo o uso de menos repetidores, bem como, possibilitam ao sinal modulado se propagar do enrolamento de baixa tensão para o enrolamento de média tensão, e vice-versa, em um transformador de distribuição.

2.1 PADRÕES DE PROTOCOLO PLC

O desenvolvimento de modems PLC está polarizado, atualmente, entre os padrões PRIME (PowerLine Intelligent Metering Evolution) e G3. A seguir cada um

destes padrões será detalhado, e na sequência será realizada uma comparação entre os mesmos, onde as características positivas e negativas de cada um serão salientadas.

2.1.1 PADRÃO PRIME

O padrão PRIME foi desenvolvido pela PRIME Alliance, um conjunto de empresas composta principalmente pela distribuidora de energia espanhola *Iberdrola* e a *Texas Instruments*. A *CELPE*, que pertence ao grupo *Iberdrola*, tem realizado algumas avaliações quanto a aplicação dos modems PLC prime em sua rede elétrica

De acordo com o documento desenvolvido por *PRIME* (2008), estudos realizados pela *PRIME Alliance* indicaram qual faixa de frequência da CENELEC A apresentava melhores resultados no envio de dados. Esta estava localizada entre 45 kHz e 90 kHz. Desta forma o padrão *PRIME* definiu suas portadoras no seguinte formato:

- Primeira portadora centrada em 41.992,1875 Hz
- Última portadora centrada em 88.867,1875 Hz
- Banda de frequência de cada portadora de 488,28125 Hz

Diante do exposto, a configuração PRIME apresenta um total de 97 subportadoras, das quais 96 podem ser utilizadas no envio de dados, estando a grande maioria delas no intervalo que proporciona condições favoráveis ao envio de dados. Vale salientar que o estudo que indica a faixa de frequência de 45kHz a 90kHz, como mais favorável a comunicação pela rede elétrica, foi realizado em redes elétricas da Europa, cujas características tendem a ser diferentes das características da nossa rede elétrica .

Os principais esquemas de modulação utilizados em OFDM foram analisados pela PRIME Alliance. Neste estudo foi percebido que as modulações em amplitude, como a 16QAM, apresentaram desempenho inferior aos esquemas de modulação em fase (BPSK, QPSK e 8PSK), que foram adotados pelo padrão PRIME, mesmo essa decisão ter aumentado a complexidade do projeto do modem PRIME, com reflexos em seu custo.

Em relação ao FEC, no desenvolvimento do padrão PRIME observou-se que técnicas complexas de correção de erros não apresentavam desempenho uniforme sob condições distintas de operação da rede elétrica. Desta forma, foram disponibilizadas

duas opções de configuração do mecanismo de correção de erro, as quais podem ser selecionadas por camadas de protocolo superiores: A não utilização de bloco algum de FEC ou a utilização de codificação convolucional, apresentou bons resultados para uma ampla variedade de ruídos na rede.

Além da presença ou não do bloco convolucional, é necessária a realização de intercalação ou *interleaving*. Este processo consiste em um embaralhamento na sequência de bits enviados, evitando longas sequências de bits iguais, obtendo-se assim uma redução na probabilidade de erros em bits adjacentes.

2.1.2 PADRÃO G3

O padrão *G3* foi criado pela *Maxim Integrated* e atualmente é desenvolvido pela *G3 Alliance*. Esta, além da *Maxim*, é composta também por empresas importantes no ramo da comunicação e energia elétrica, como por exemplo: *Cisco* e *EDF*, respectivamente.

A sua camada física é caracterizada pela escolha de apenas 2 tipos de esquemas de modulação, DBPSK e DQPSK. De acordo com o documento de especificação da camada física, desenvolvido pela *ERDF*, não foram adicionadas outras possibilidades porque esquemas de modulação com mais fases, como a D8PSK, necessitariam de um circuito extra de detecção de fase. Isso aumentaria os custos do projeto, enquanto que não proveria melhorias consideráveis no procedimento de envio de dados.

A comunicação é realizada na banda CENELEC A, mais precisamente entre as frequências de 35,9 e 90,6 kHz, com as seguintes características

- Primeira portadora em 35,938 kHz
- Última portadora em 90,625 kHz
- Banda de frequência de 1.5625 kHz.
- Total de 36 subportadoras.

O FEC no padrão *G3* apresenta algumas opções, dentre as quais se destacam: a codificação convolucional, o Reed Solomon e a escolha de um método robusto. Reed Solomon consiste em um filtro digital para correção de erros que possibilita uma maior confiabilidade em ambientes ruidosos.

Este é definido através de uma equação polinomial, como descrito por Wicker et al(1999). Sendo os sinais de dados definidos como um vetor de mensagens x , o

polinômio responsável pela definição dos parâmetros do filtro pode ser encontrado em detalhes na Equação II, onde m indica o número da mensagem.

$$P(t) = x_m t^{m-1} + x_{m-1} t^{m-2} + \dots + x_2 t + x_1 + \dots \quad (2)$$

Os parâmetros a do filtro é obtido para cada instante de tempo através dos valores do polinômio da Equação 2 utilizando a relação presente na Equação 3.

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a(n)] = [P(0) \ P(1) \ \dots \ P(n)] \quad (3)$$

O método robusto apresenta um FEC composto pelo Reed Solomon e a codificação convolucional em sequência, seguido por um código de repetição, neste cada bit é repetido 4 vezes. Isto aumenta drasticamente a robustez, porém diminui a taxa de envio em 4 vezes, além de aumentar a quantidade de processamento do sistema.

Por último, um dos grandes pontos fortes do padrão $G3$ consiste na realização de *tone mapping*. Este se caracteriza pelo envio de informações do receptor para o transmissor, indicando quais são as portadoras que apresentam uma menor interferência de ruído naquele momento. Estas são então utilizadas no envio de dados. As subportadoras com grande influência de interferência devem conter apenas bits aleatórios que não contenham nenhuma mensagem.

2.1.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS PADRÕES PRIME E G3

Após a descrição sobre os padrões *PRIME* e $G3$ é importante evidenciar as diferença, vantagens e desvantagens entre cada padrão no intuito de ser possível realizar uma escolha consciente do padrão ideal para cada tipo de aplicação. Alguns estudos já realizaram a comparação através de testes em campo entre os dois padrões, dos quais vale-se destacar Martin Hoch (2011) no artigo denominado "*Comparison of PLC G3 and PRIME*".

No trabalho de Hoch (2011) fica evidenciado o que já se era suspeitado pela análise da descrição de cada padrão pelos seus desenvolvedores. Em relação ao número de portadoras, o padrão *PRIME* apresenta uma quantidade mais que o dobro do padrão $G3$. Além disto, apresenta uma banda de frequência menor para cada portadora, o que

ocasiona uma densidade espectral de potência mais compacta, diminuindo o processamento computacional no processo de filtragem de sinal.

Em relação ao FEC, o protocolo *G3* apresenta uma robustez consideravelmente maior, tendo em vista que o *PRIME* apresenta apenas a possibilidade da codificação convolucional. Desta forma o padrão *G3* apresenta uma complexidade e esforço computacional maior, porém, apresenta uma maior confiabilidade em ambientes ruidosos. Por outro lado, em condições com baixa magnitude de ruído, a não utilização de mecanismos FEC permite uma maior taxa de envio de dados.

Além disto, a possibilidade de realizar o *tone mapping*, no padrão *G3*, ocasiona um aumento maior na confiabilidade da transmissão em ambientes com ruídos impulsivos (aqueles que estão em apenas algumas frequências). Neste tipo de ambiente, o *tone mapping* permite a continuação do envio de dados no padrão *G3*, enquanto que a comunicação pode ser até totalmente impossibilitada no padrão *PRIME*.

Percebe-se então que o padrão *PRIME* apresenta uma arquitetura mais simples, com menor complexidade e maior taxa de envio de dados em condições favoráveis. Todavia, o padrão *G3* é mais robusto, apresenta uma melhor resposta na presença de ruídos e obstáculos na linha, como por exemplo, a passagem por transformadores. Desta forma, a escolha do padrão ideal deve ser realizada pela análise da presença de ruídos e obstáculos na linha, bem como em função da velocidade exigida.

Há ainda alguns estudos, como o realizado por Kim et al (2010), que sugerem a criação de um novo padrão, composto pela junção dos dois, havendo a possibilidade de não utilizar a robustez do padrão *G3* em condições favoráveis, porém de acioná-las quando detectada a presença de ruídos na banda de frequência em que o PLC estará operando.

2.2 APLICAÇÕES

Nesta seção serão apresentadas duas aplicações em que o uso do PLC tem sido investigado. A primeira aplicação está relacionada as redes inteligentes, onde o PLC pode compor o conjunto de canais de comunicação aplicados na interligação dos dispositivos que venham integrar as redes inteligentes. Uma segunda aplicação está relacionada ao uso do PLC em veículos, o que pode possibilitar a redução de cabeamento, ou mesmo a substituição do cabeamento atual utilizado nas redes do tipo CAN. Nessa aplicação sobre a rede PLC seria aplicado o protocolo utilizado na rede CAN, que se propagaria através dos cabos de energia do veículo.

2.2.1 REDES INTELIGENTES (*SMART GRID*)

O conceito de rede inteligente (*Smart grid*) que vem se tornando mais frequente a cada dia nos debates sobre o sistema elétrico. De uma forma simples, consiste na comunicação e monitoramento entre diversos subsistemas do sistema elétrico. Suas principais vantagens consistem em um aumento de confiabilidade do sistema, melhoria da qualidade da energia fornecida com conseqüente impacto nos índices de qualidade, maior rapidez na mitigação de faltas, melhor aproveitamento de cada fonte de geração de energia e diminuição perdas na transmissão e distribuição de energia. Um exemplo de *smart grid* pode ser visto na Figura 7, encontrada na revista *Nature* (11/07/2013).

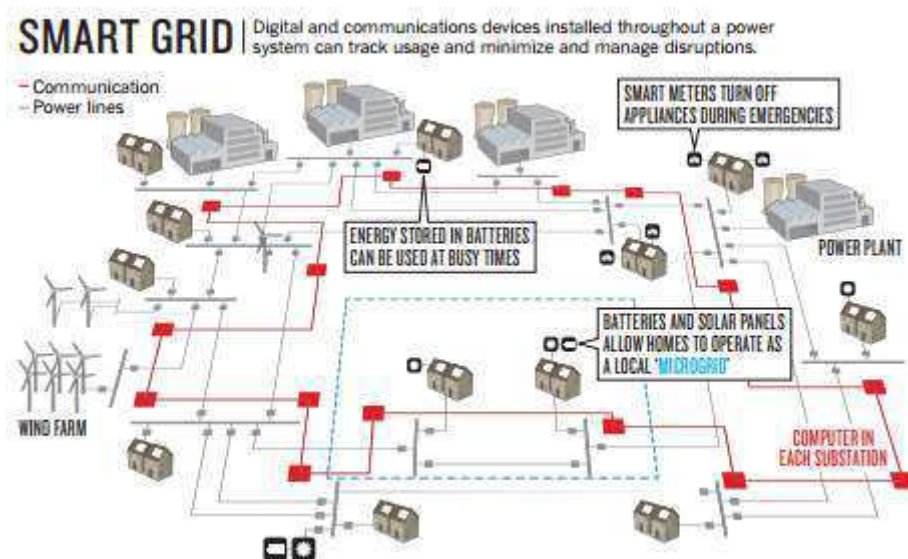


Figura 7: Exemplo de *smart grid*. Fonte: Amin(2013)

À partir da Figura 7, observa-se que em uma rede inteligente, há um sistema automatizado de monitoramento que realiza uma análise da rede e decide qual a combinação de geração de cada fonte de energia para que seja obtida a produção com melhor rendimento. Tendo em vista o grande número de elementos em um sistema elétrico, a comunicação entre todos estes componentes é um grande desafio, o custo para utilização de cabos de fibra ótica ou comunicação sem fio é bastante elevado o que pode atrasar a implementação do *smart grid* em algumas concessionárias.

A comunicação pela rede elétrica surge então como uma alternativa de baixo custo, dado que toda a infraestrutura, com exceção dos modems PLC, já está disponível, necessitando apenas a conexão dos modems. Outras tecnologias proveriam uma maior velocidade na transmissão de dados, porém, alguns serviços a serem adotados com a implantação das redes inteligentes, como por exemplo, a medição e gerenciamento remoto de consumidores, exigem baixas taxas de transmissão de dados. Nestes cenários a comunicação PLC disponibiliza uma taxa de transmissão suficiente para o atendimento desses serviços em uma rede *smart grid* eficiente.

2.2.2 VEÍCULOS

Diversos estudos estão sendo realizados para a aplicação da comunicação PLC em automóveis. Atualmente existem dois campos principais de pesquisa, a utilização dos cabos de energia para realizar a comunicação entre todos os sistemas de automóveis convencionais e a utilização no processo de carregamento de carros elétricos, realizando uma troca de informações entre o veículo e o carregador.

No primeiro caso, estudos, como o realizado por Rensburg et al (2003), sugerem a utilização deste tipo de comunicação para a substituição de uma quantidade enorme de cabos presente nos veículos. Com o avanço tecnológico dos carros, houve um crescimento na quantidade de sistemas que necessitam de algum tipo de comunicação elétrica, como em vidros elétricos, diversos sensores e sistemas de freio ABS.

De acordo com Rensburg, o peso de todos os cabos atualmente nos automóveis é de em média 91 kg. Desta forma, a utilização da comunicação PLC acarretaria em um carro mais leve, ocasionando um melhor desempenho e um menor consumo de combustível.

A redução da quantidade de cabos quando utilizada a comunicação pela rede elétrica está ilustrada na [Figura 8](#) ~~Figura-8~~, do lado esquerdo é visto um esquemático da

quantidade de cabos utilizados em diversos sistemas do carro que necessitam se comunicar com um controlador central. A direita é possível perceber a grande economia de cabos, se fossem utilizados os cabos já existentes de alimentação.

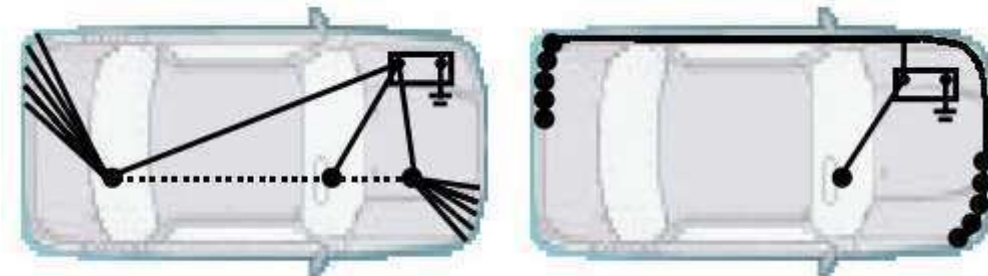


Figura 8: Comunicação veicular multiplexada e utilizando PLC. Fonte: Rensburg et al(2003)

A rede CAN utiliza atualmente o cabeamento multiplexado visto na [Figura 8](#). Alguns estudos, como o realizado por Maryanka et al(2005), sugerem a utilização da rede de energia como meio de transmissão dos comandos da rede CAN. A utilização de PLC, além de ocasionar a diminuição da quantidade de cabeamento, produziria um sistema de comunicação mais confiável. Tendo em vista, que os cabos transmissores de energia são mecanicamente mais resistentes, apresentando uma probabilidade menor de ruptura.

No caso de veículos elétricos, informações como tempo de carregamento e corrente máxima suportada são disponibilizadas pelo veículo através do cabo de alimentação para que o carregamento seja realizado de forma segura e eficiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico está dividido em duas seções nas quais serão detalhados os materiais utilizados neste trabalho e os métodos de estudo para obtenção dos resultados finais e conclusões.

3.1 MATERIAIS

No desenvolvimento do projeto, foram utilizados diversos equipamentos elétricos. O principal elemento foi o kit de desenvolvimento PLC da *Texas Instruments*(

tmdsplckit-v3). Também, alguns elementos auxiliares como transformadores e analisadores de espectro foram utilizados.

Foram utilizadas ainda algumas ferramentas computacionais para configuração de parâmetros de comunicação e para realização de análise de dados.

3.1.1 KIT TEXAS

O kit *Texas tmdsplckit-v3* foi concebido para o estudo e desenvolvimento de aplicações utilizando PLC. Ele é formado por:

- Dois modems PLC;
- Pen Drive contendo instaladores e *software* para desenvolvimento *PRIME* e *G3*;
- Dois microcontroladores F28069;
- Interface de comunicação entre modem e microcontrolador;
- Cabos de conexão de dados e de força.

A imagem de um dos modems com o microcontrolador conectado pode ser visto na [Figura 9](#).



Figura 9: Modem Kit Texas.

3.1.2 ELEMENTOS AUXILIARES

Para realização dos experimentos foi necessária a adição de outros elementos. Primeiramente foram utilizados dois transformadores idênticos de relação de bobinas 110V:220V , a foto de um deles pode ser observada na Figura 10.



Figura 10: Transformador utilizado em trabalho.

A análise de frequência do sinal enviado foi realizada através de um analisador de espectros da *Agilent Technology*. Este equipamento pode ser visto na Figura 11.



Figura 11: Analisador de espectros Agilent utilizado no trabalho.

Além disto, foram utilizados filtros de linhas, cabos e adaptadores.

3.1.3 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Este trabalho foi desenvolvido utilizando duas ferramentas computacionais que realizam a interface entre os modems PLC e o computador, ambas desenvolvidas pela *Texas Instruments*. A primeira é denominada *Zero Configuration GUI* e sua tela de trabalho pode ser encontrada em detalhes na Figura 12.

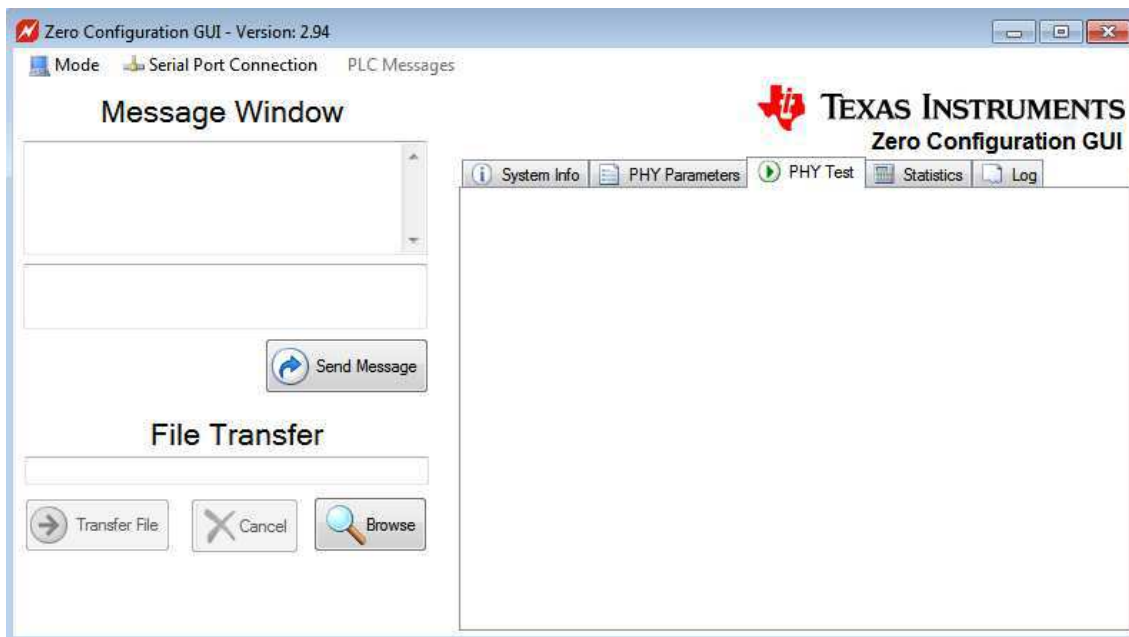


Figura 12: Tela da ferramenta *Zero configuration GUI*.

Esta ferramenta se conecta com um dos kits PLC através da escolha de qual porta serial este está conectado. Nele há 3 opções de teste de envio, é possível enviar um arquivo através do campo *File Transfer*, enviar uma mensagem escrita pelo acionamento do botão *Send Message* ou ainda realizar o teste padrão da camada física (*Phy Test*), havendo as opções de modo de recebimento ou de envio.

Apesar de apresentar um grande número de informações, o *Zero Configuration GUI* é uma ferramenta limitada no que se refere aos tipos de transmissão de dados permitidos. Deste modo, foi utilizada a segunda ferramenta, denominada de *Intermediate GUI*, a qual apresenta opções mais avançadas.

A tela inicial dessa ferramenta encontra-se em detalhes na [Figura 13](#)~~Figura 13~~. Como visualizado, uma de suas maiores vantagens consiste na análise dos dados de forma gráfica.

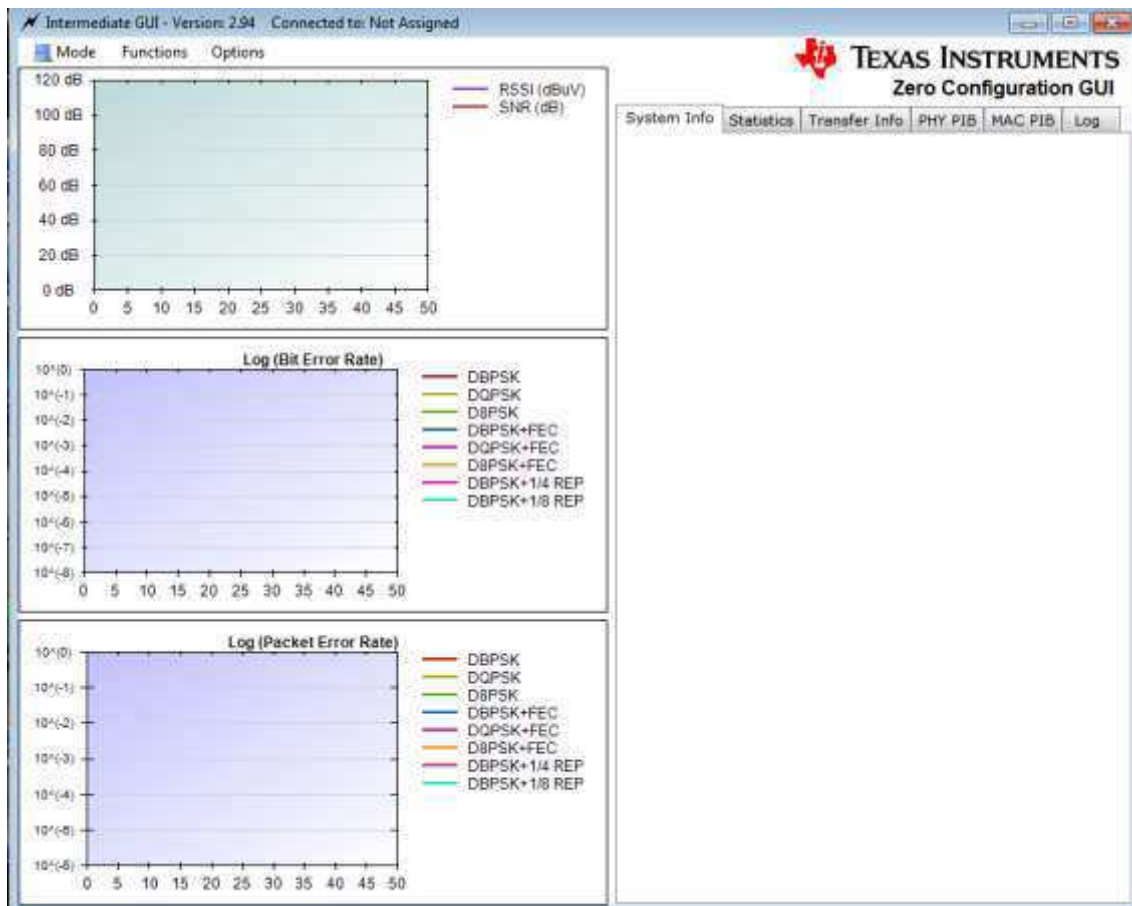


Figura 13: Tela exemplo de análise no *Intermediate GUI*.

Além disto, é possível configurar diversos parâmetros de comunicação, tais como:

- Esquema de modulação;
- Tamanho e formato dos dados;
- Presença de codificação convolucional.

3.2 MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado à partir da análise de alguns parâmetros na comunicação entre dois modems PLC em algumas situações de rede.

As variáveis analisadas foram:

- Relação Sinal Ruído (SNR) em dB;
- Taxa de erro;
- Potência medida do sinal no receptor (RSSI) em dBuV;
- Amplitudes no espectro de frequência do sinal.

O espectro de frequência do sinal foi obtido através do analisador de espectros da *Agilent*. A utilização deste necessita de uma configuração inicial para que sejam visualizados os dados corretos. Primeiramente é necessário ajustar a faixa de frequência em que se deseja visualizar o sinal. Neste projeto foi definida uma faixa entre 0 kHz e 100 kHz ou 0 kHz e 120 kHz. Estas duas faixas permitem observar todo espectro utilizado na comunicação PLC com padrão *PRIME*.

Outros parâmetros como *sweep* e *res BW* que aparecem na tela no momento de análise são parâmetros calculados automaticamente pelo analisador de espectros através da faixa de frequência, não sendo necessária a configuração de seus valores.

Em virtude dos valores do sinal em cada frequência não serem constantes no tempo, para uma melhor análise, foi necessário utilizar a função *Max Hold* do item *trace detector* do menu. Essa opção de operação permite manter o sinal constante por mais tempo na tela.

Os outros valores foram obtidos através dos gráficos e relatório no *Intermeditate GUI*, ambos estão presentes na tela principal vista na [Figura 13](#).

Três cenários distintos da rede elétrica foram analisados. Primeiramente, a comunicação entre os modems foi realizada através de uma rede com índice baixo de ruídos. Esta rede foi criada a partir da filtragem do sinal proveniente da rede elétrica convencional. A filtragem é feita através do uso de dois transformadores em série, como visto na [Figura 14](#). A utilização dos transformadores atenua as componentes de ruído de alta frequência presentes na rede elétrica.

Os modems foram conectados na rede de teste vista na [Figura 14](#) em um mesmo nó, próximo ao segundo transformador.

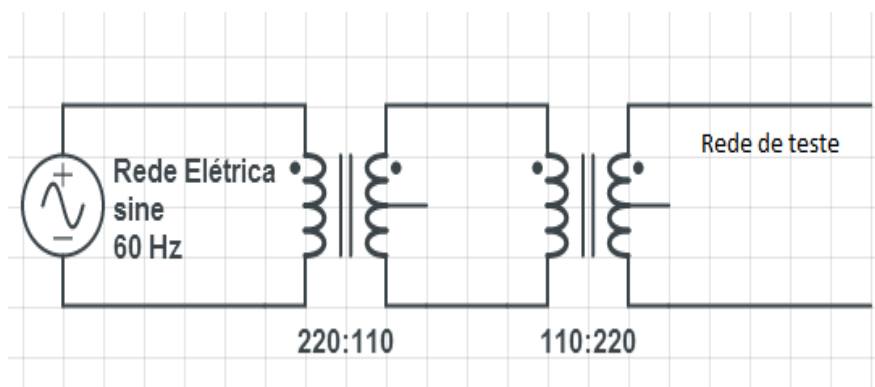


Figura 14: Montagem para caso de rede limpa.

Em seguida foi analisado o cenários da rede elétrica convencional, estando os modems conectados em dois diferentes nós da rede separados de aproximadamente 4 metros entre si, como detalhado no esquema da [Figura 15](#) ~~Figura-15~~.

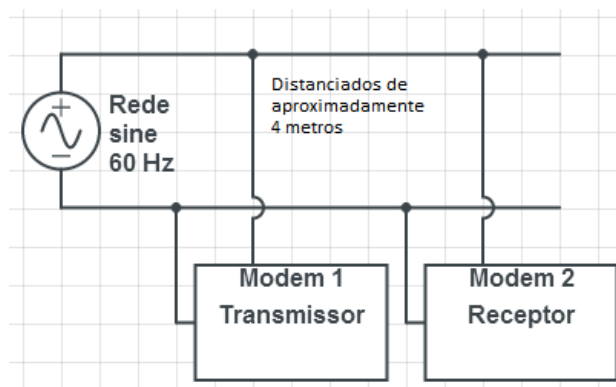


Figura 15: Montagem para caso da rede convencional

É válido salientar que esta análise foi realizada em laboratório na UFCG em um período de baixo volume de carga. Tendo em vista que o período de aula já havia finalizado. Com isso, uma elevação da presença de ruídos foi conseguida através do acionamento de um conjunto de 4 lâmpadas fluorescentes tubulares no mesmo circuito em que estava sendo realizado os testes.

O último experimento consistiu em analisar a comunicação através de um transformador. Deste modo os dois modems foram conectados como no esquema da Figura 16. Os modems transmissor e receptor foram trocados de posição, porém os resultados se mantiveram semelhantes. Desta forma optou-se por utilizar apenas este esquema de montagem.

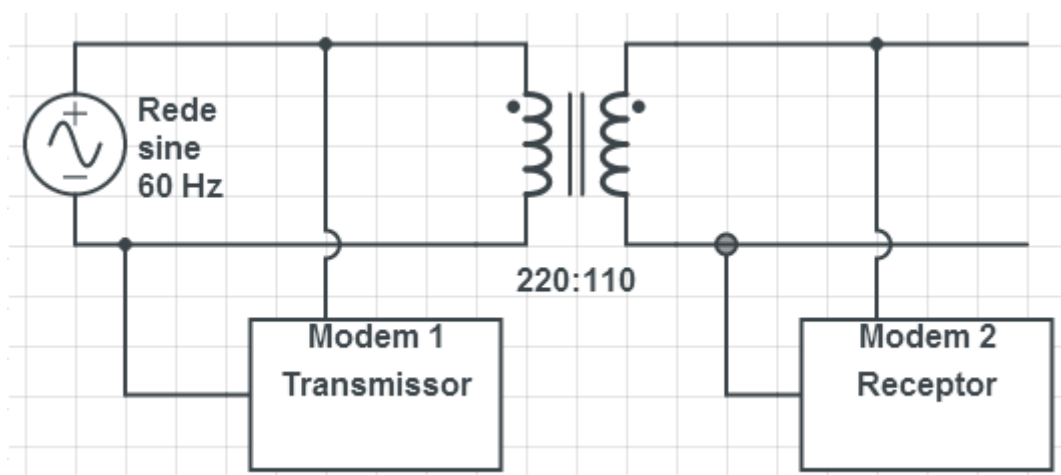


Figura 16: Montagem para comunicação através de transformador

Após a obtenção de todos os dados, foi realizada uma comparação entre os diversos casos, tendo como foco a perda de qualidade no sinal devido aos ruídos na rede elétrica.

4 RESULTADOS

Primeiramente foram analisados os espectros de frequência em dois cenários distintos, a rede criada a partir da filtragem realizada pelos transformadores e para a rede elétrica convencional. A diferença entre ambos os casos foi razoavelmente elevada como pode ser visto na Figura 17 e na Figura 18.

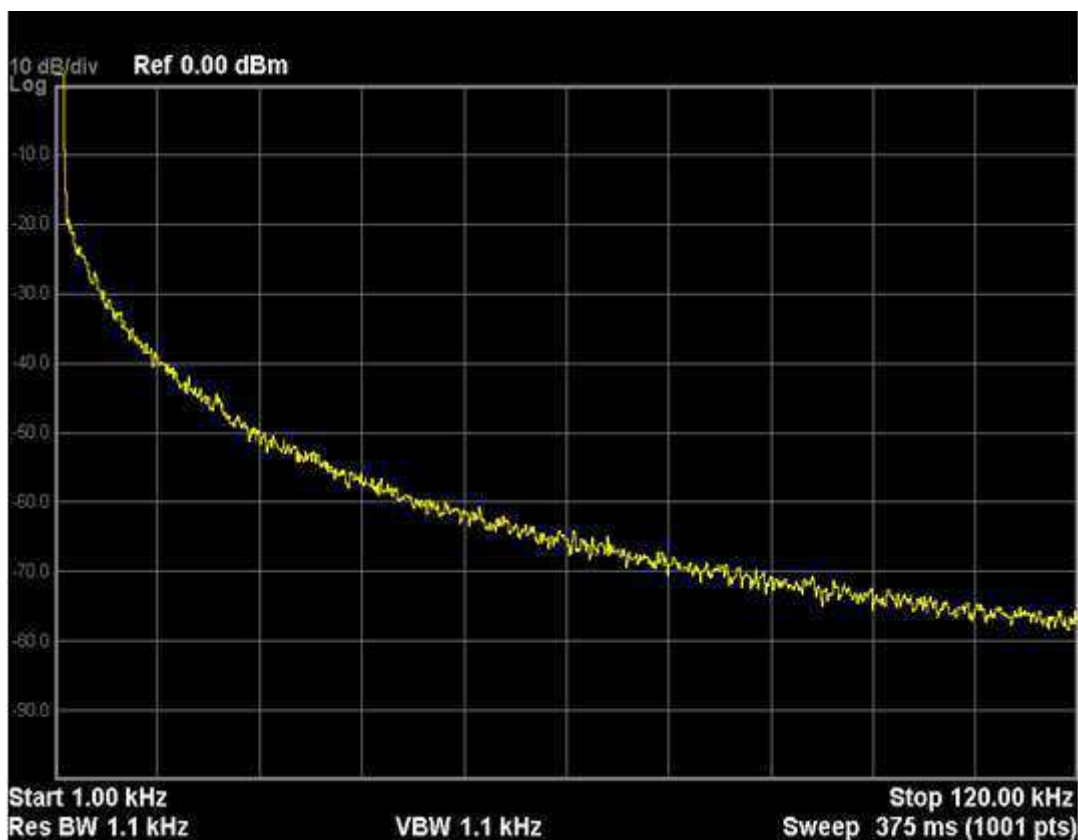


Figura 17: Espectro da rede com filtragem de ruídos.

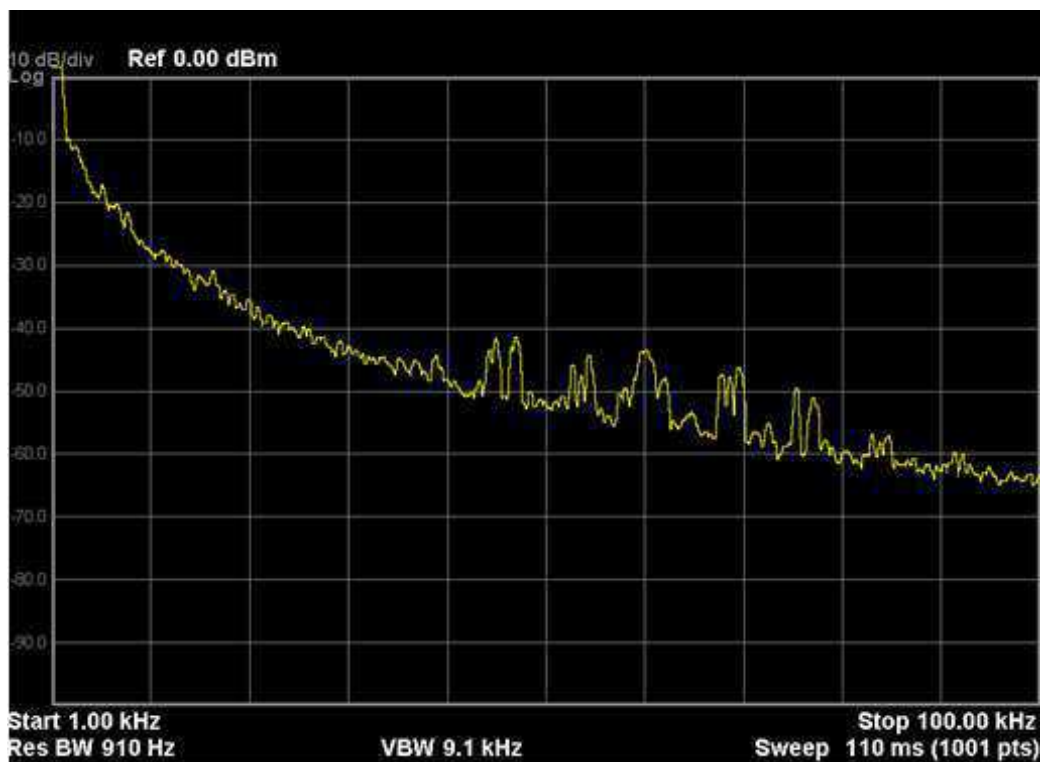


Figura 18: Espectro da rede elétrica. Fonte:Autor

Como pode ser observado na Figura 18, a rede elétrica encontra alguns pontos elevados de ruído na faixa de frequência em que o PLC realiza comunicação. Desta forma, será avaliado se a magnitude destes ruídos pode afetar a comunicação.

Em situações de maior volume de carga nesta localidade, ou em regiões extremamente povoadas como no centro comercial de uma cidade, a presença de ruídos na faixa de frequência de envio pode ser bastante superior a observada na Figura 18.

O próximo passo consistiu em analisar a comunicação nos 3 casos explanados no tópico 3.2.

4.1 COMUNICAÇÃO EM REDE COM BAIXO ÍNDICE DE RUÍDOS

Na análise da comunicação com baixo índice de ruídos, foi feita a montagem vista na [Figura 14](#). A comunicação entre os dois modems utilizou a modulação DBPSK, com envio de dados no formato de rampa. O espectro de frequência observado no período de comunicação encontra-se em detalhes na Figura 19.

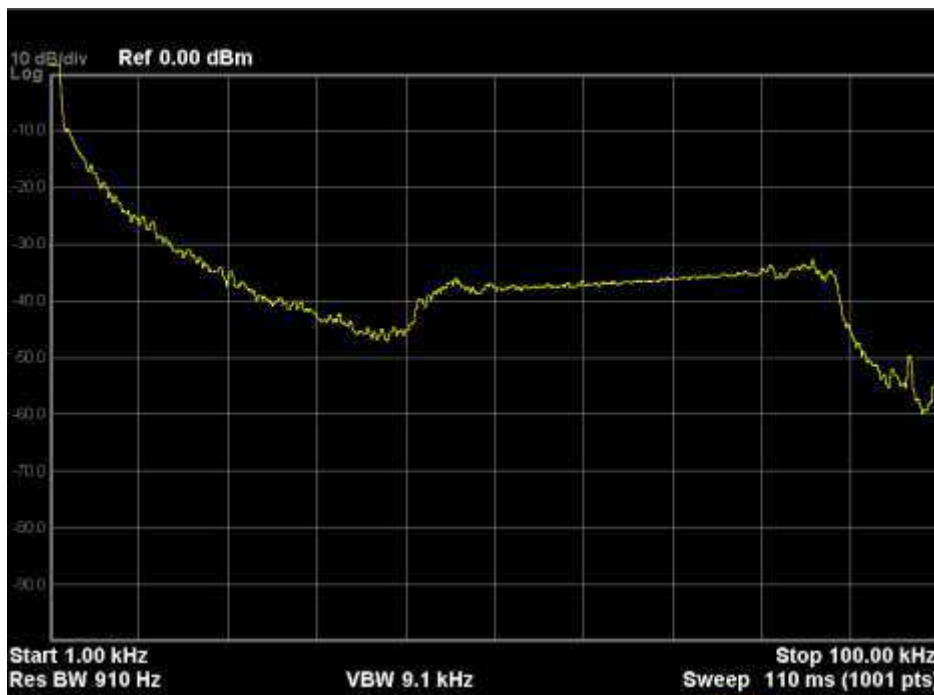


Figura 19: Espectro de frequência em período de envio em rede livre de ruídos.

Percebe-se através da Figura 19, que no momento de envio, há sinais em toda banda de frequência entre 36 e 90 kHz, e que estes apresentam magnitude relativamente constante em todos os casos. Desta forma, pode-se concluir que a não existência de ruídos com magnitudes elevadas na faixa de frequência de envio permite a utilização de toda banda de frequência do modo PRIME com exatidão.

Em seguida, foi analisada a tela do *Intermediate GUI*, contendo gráficos sobre os parâmetros de magnitude do sinal, relação sinal ruído e analisadores de erros. Esta encontra-se em detalhes na Figura 20.

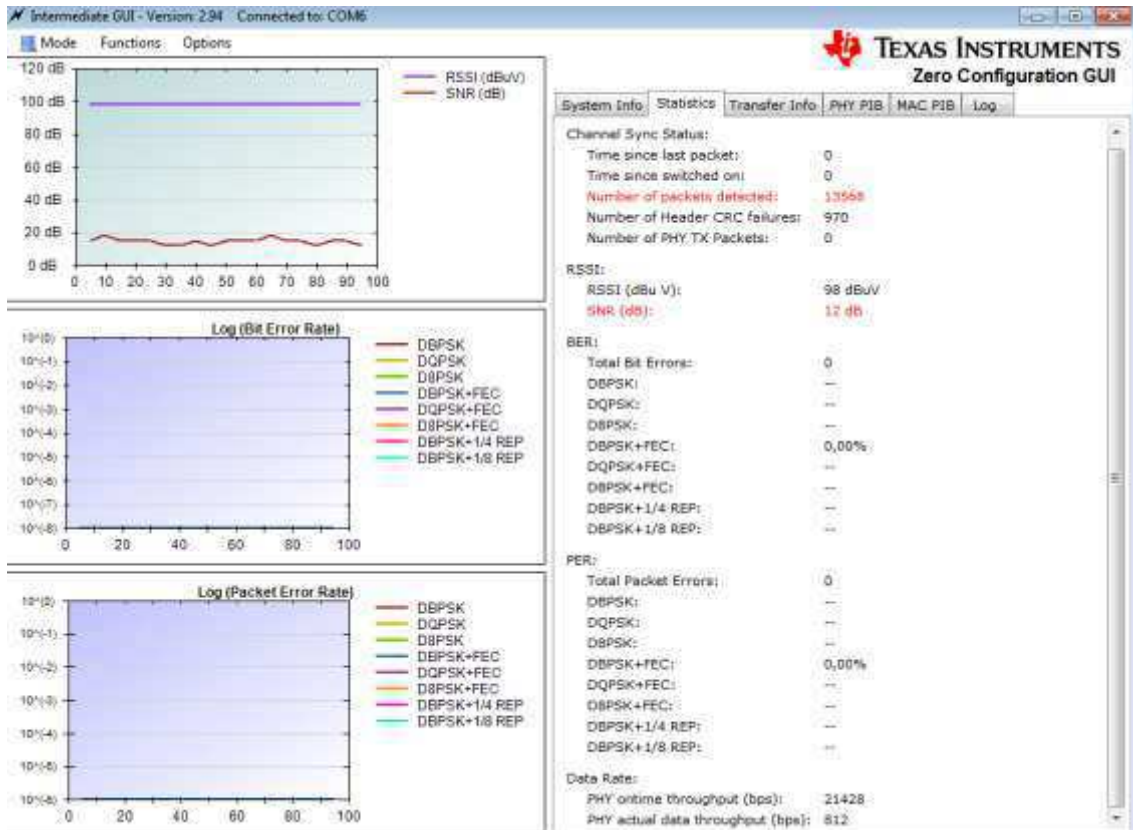


Figura 20: Tela do *Intermediate GUI* em momento de envio com rede livre de ruídos.

Observa-se pela Figura 20 que o sinal de dados apresenta uma magnitude constante de valor satisfatório de 100 dBuV. A relação sinal ruído apresenta uma pequena variação, porém encontra-se por volta de 18 dB, indicando um sinal de envio com magnitude 63 vezes maior que a magnitude do ruído.

Os dois últimos gráficos apresentam as taxas de erro de bit e pacote, observadas pelo receptor. Estes gráficos são obtidos a partir da comparação do sinal recebido pelo receptor e o tipo de sinal esperado, configurado nas opções.

A partir da análise de dados, foi percebido que em um cenário com baixo índice de ruídos, o kit da *Texas Instruments* com padrão *PRIME* realiza a comunicação com uma magnitude do sinal de dados bastante superior que os níveis de ruídos, apresentando, portanto, um baixo índice de erro.

4.1.1 COMUNICAÇÃO PELA REDE ELÉTRICA CONVENCIONAL

A próxima etapa do experimento consistiu em realizar o mesmo experimento do tópico 4.1 porém na rede elétrica convencional, o qual apresenta espectro de frequência na banda de transmissão visto na Figura 18.

Primeiramente foi observado o espectro de frequência no período de envio. Este encontra-se exposto na [Figura 21](#)~~Figura 21~~.

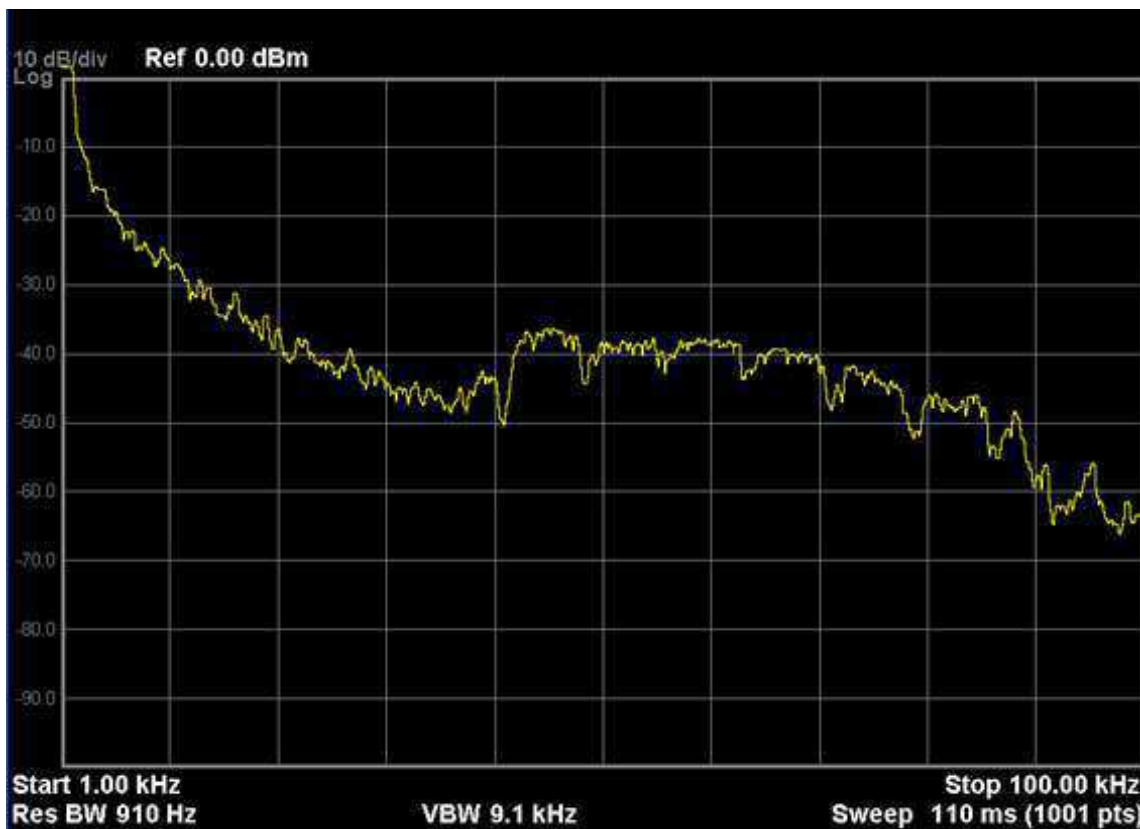


Figura 21: Espectro em período de envio na rede elétrica convencional.

Como no caso da rede filtrada, é observada a presença de sinais de magnitudes mais elevadas na faixa de frequência entre 40 e 90 kHz, destinadas ao envio no modo *PRIME*. Todavia, algumas diferenças devem ser destacadas. O espectro na rede limpa apresenta uma uniformidade nos valores de magnitudes para cada frequência mais elevado do que na rede convencional.

Isto se deve principalmente a presença de ruídos de magnitude mais elevada na rede. Ao comparar a Figura 18 com a [Figura 21](#)~~Figura 21~~, percebe-se que a faixa de frequência em que se encontram os pontos de magnitude mais elevada de ruído coincidem com os pontos que apresentam uma maior variação de magnitude no momento de envio do sinal.

Desta forma, percebe-se que a magnitude do ruído na faixa de frequência desejada irá influenciar diretamente a qualidade do sinal de envio.

Em seguida, foi analisada a tela do *Intermediate GUI* nesta situação de comunicação de dados, esta encontra-se exposta na Figura 22.

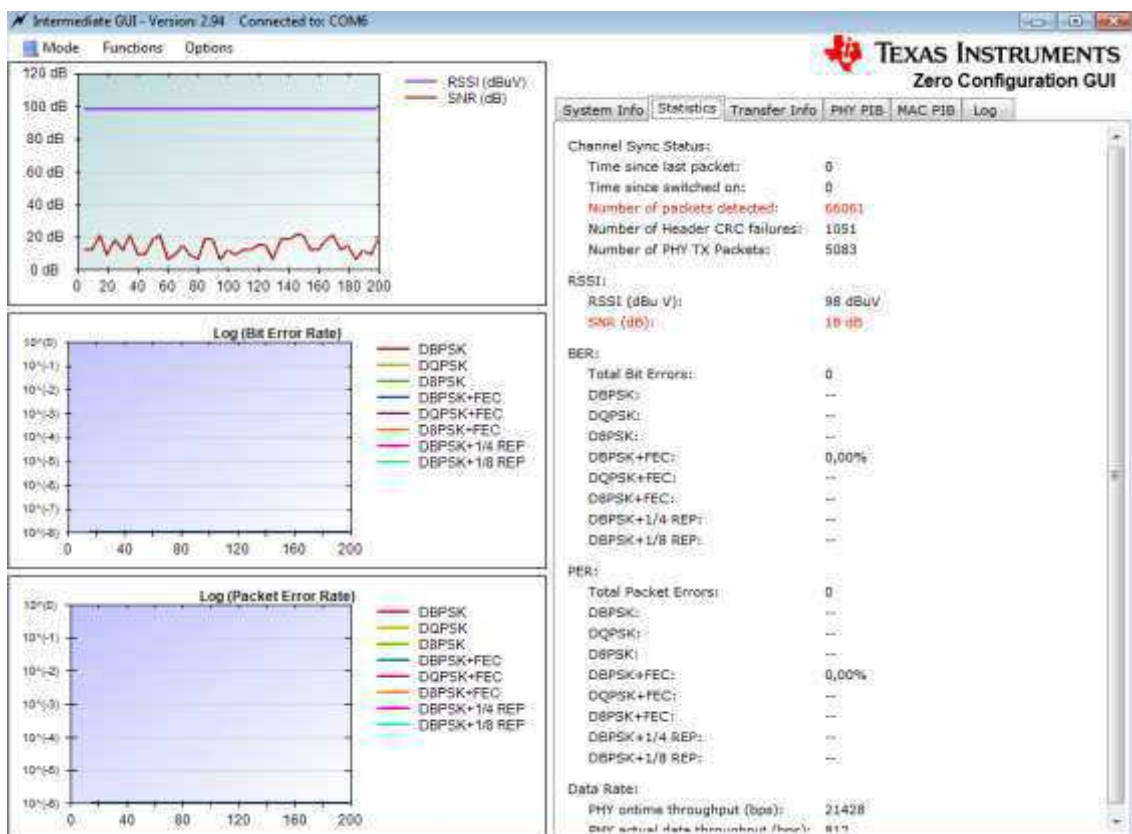


Figura 22: Tela do *Intermediate GUI* em momento de envio em rede convencional.

Foi observado que a magnitude do sinal de dados é de 98 dBuV, havendo uma redução quando comparada ao envio na rede filtrada. Porém esta diminuição é baixa, não ocasionando falhas no envio, como visto nos gráficos referentes as taxas de erro de bit e de pacotes.

Todavia, ao comparar a Figura 22 com a Figura 20, nota-se uma diferença considerável no comportamento da relação sinal ruído. No cenário da rede convencional é observada uma oscilação maior desta variável, apresentando em alguns pontos, valores baixos que representam uma menor diferença entre magnitude do sinal de dados e de ruído na rede.

Desta forma, mesmo que a intensidade dos ruídos presentes na rede não tenha sido suficientes para comprometer a qualidade da comunicação. A variação da relação de sinal ruído indica que em situações com intensidades mais elevadas de ruído, a comunicação pode ser extremamente afetada.

4.1.2 COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DE TRANSFORMADORES.

O passo final consistiu em analisar se o kit da *Texas Instruments* com padrão *PRIME* tem a capacidade de realizar a comunicação através de um transformador. Desta maneira, foi conectado um transformador a rede elétrica e dois modems conectados ao primário e ao secundário do mesmo.

A efetividade da comunicação foi analisada utilizando a ferramenta do *Intermediate GUI*, os dados no momento de envio podem ser vistos em detalhes na [Figura 23](#).

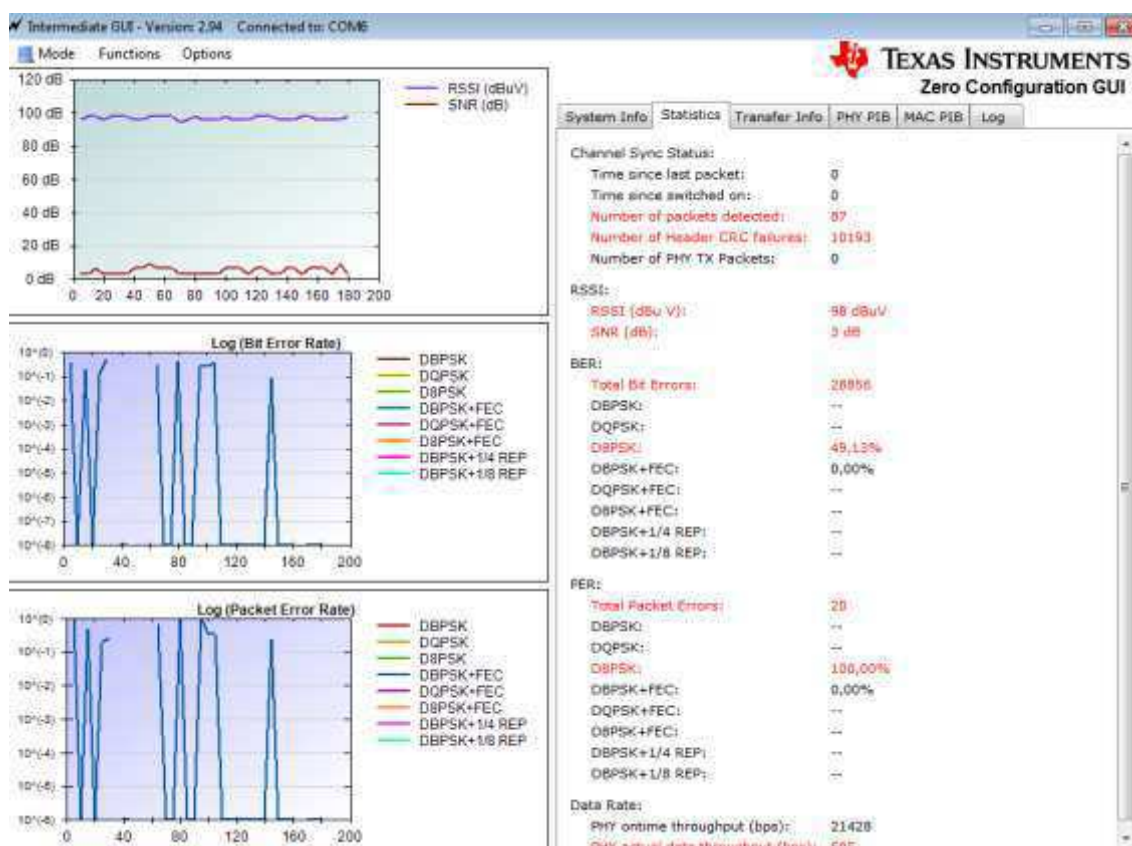


Figura 23: Tela do *Intermediate GUI* em momento de envio através de transformador.

Percebe-se neste caso que a relação de sinal ruído apresenta magnitudes extremamente baixas, apresentando valor nulo em diversos pontos. A média desta variável está em torno de 3 dB, o que significa que a intensidade do sinal de dados é apenas o dobro da intensidade do sinal de ruído, enquanto que no caso da rede limpa, era, em média, 63 vezes maior.

Os gráficos indicadores das taxas de erros de bit e pacotes apresentaram uma grande variação, apresentando em alguns momentos valor unitário, ou seja, não

obtenção de pacotes corretos ou bits corretos. Com isso, concluiu-se que estes modems não realizaram uma comunicação efetiva.

Em seguida foi realizado um teste mais simples de envio para certificação da ausência de comunicação entre os modems. Este consistiu no envio de mensagens por ambos os modems. Em nenhum dos casos a mensagem foi recebida pelo receptor.

Para que houvesse uma completa certificação, foram analisados os espectros de frequência no transmissor e no receptor (separados pelo transformador). Estes podem ser vistos nas Figura 24 e [Figura 25](#).

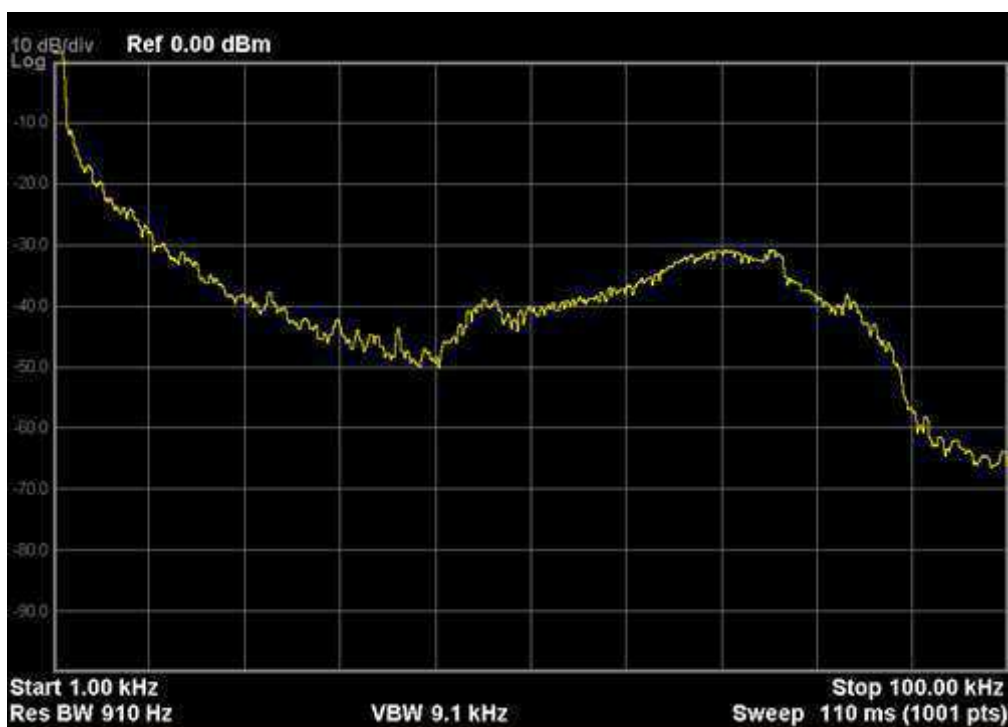


Figura 24: Espectro em transmissor.

Percebe-se pela Figura 24 que no momento de envio de dados o transmissor apresenta sinais de envio na faixa de frequência do padrão PRIME. Todavia, ao observar a [Figura 25](#), nota-se que o sinal não foi replicado para o outro lado do transformador.

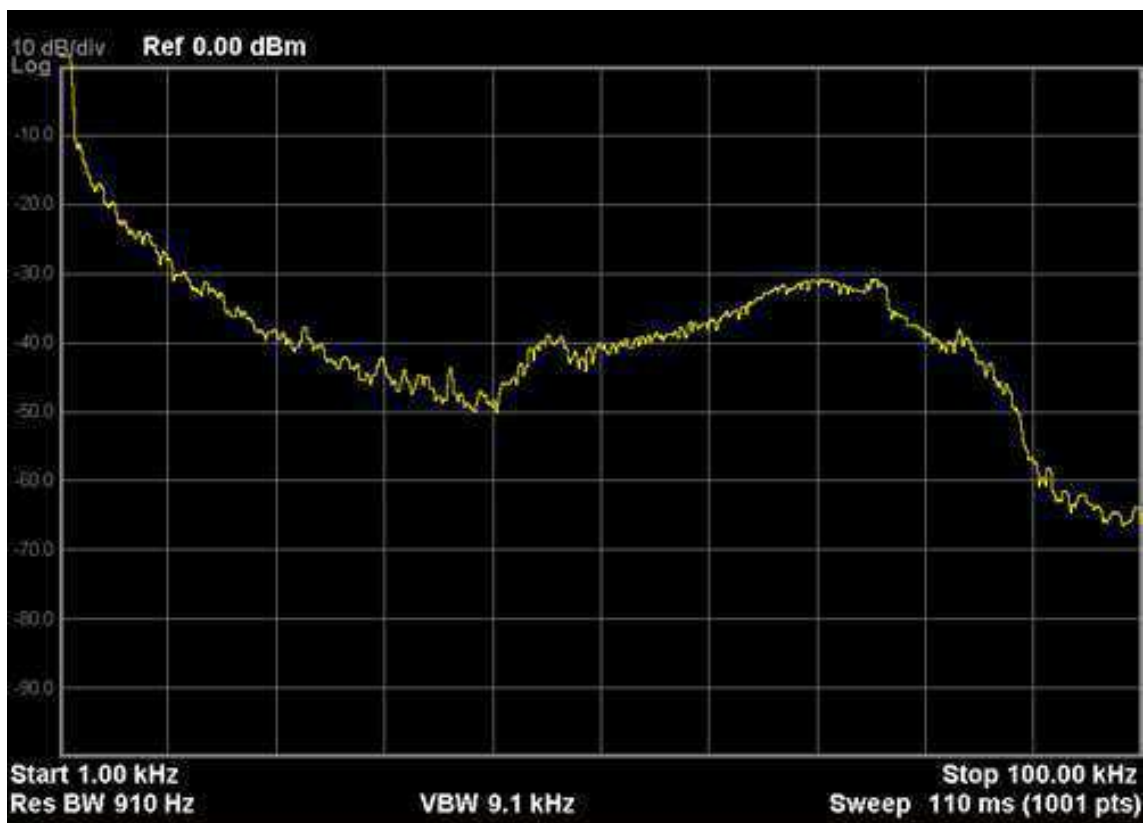


Figura 25: Espectro em receptor.

5 CONCLUSÃO

A comunicação PLC está sendo investigada de modo a se determinar a viabilidade de sua implantação nas redes elétricas do Brasil. Dado que os estudos realizados com vista ao desenvolvimento de modems PLC comerciais terem sido conduzidos em redes elétricas de países estrangeiros, é de fundamental importância que tais modems sejam avaliados nas condições das redes brasileiras de modo a verificar a efetividade de operação dos mesmos. O alto índice de ruídos presente na rede e a presença de obstáculos como transformadores são os principais desafios que esta tecnologia necessita enfrentar.

Em sendo possível mitigar as restrições de uso de modems PLC nas redes elétrica, parece haver um futuro promissor no uso dessa tecnologia, principalmente em aplicações onde seu uso acarretaria uma diminuição do custo total do sistema e proveria maior confiabilidade, como nos casos de *smart grid* e comunicação de sensores em veículos.

O padrão PRIME testado através de kit da *Texas Instruments* apresentou desempenho satisfatório nos casos de rede sem a presença de ruídos de alta magnitude e na rede elétrica convencional em situações que se encontra com uma presença moderada de ruídos.

Todavia, o mesmo não apresentou resultados satisfatórios para ultrapassar transformadores, apresentado taxa elevada de erro e uma baixa relação sinal ruído. De acordo com artigos estudados, o padrão G3 apresentaria uma melhor resposta neste caso, tendo em vista a presença de um sistema mais robusto de tratamento de erros.

Desta forma em trabalhos futuros podem ser abordados esses mesmos testes para o padrão G3, bem como a implantação de algumas mudanças no código de comunicação do padrão PRIME visando uma melhoria da comunicação na presença de ruídos e transformadores.

BIBLIOGRAFIA

IEEE. Std 1901.2. Disponível em <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1901.2-2013.html> . Citado três vezes nas páginas 4 5 e 6.

Capítulo 8 - Convolutional Coding, Disciplina de Digital Communication System - MIT (10/2010). Disponível em web.mit.edu/6.02/www/f2010/handouts/lectures/L8.pdf . Citado uma vez na página 5.

PLC Utilities Alliance(PUA), Presentation to IEEE. 03/2004. Citado uma vez na página 5

PRIME, Project. PRIME,Technology White Paper, PHY, MAC and Convergence layers. v1, 21/07/2008. Disponível em http://www.iberdrola.es/webibd/gc/prod/en/doc/MAC_Spec_white_paper_1_0_080721.pdf . Citado uma vez na página 8.

ERDF,PLC G3 Physical Layer Specification. Encontrado em: <http://www.maximintegrated.com/products/powerline/pdfs/G3-PLC-Physical-Layer-Specification.pdf> . Citado uma vez na página 9.

HOCH, M. Comparison of PLC G3 and Prime, 2011. IEEE International Symposium on Power Line Communication and its Applications. Citado uma vez na página 10.

WICKER, B et al. Reed-Solomon Codes and Their Applications, 10/1999. Citado uma vez na página 9

KIM, I et al. Performance Analysis and Enhancements of Narrowband OFDM Powerline Communication Systems, 2010. Citado uma vez na página 11.

AMIN, M. The smart-grid solution. Nature, v. 499, p 145 - 147, 11/07/2013. Citado uma vez na página 12

RENSBURG, J et al. Automotive Power-Line Communications : Favourable Topology for Future Automotive Electronic Trends, 2003. 7th International Symposium on Power Line Communication and its Applications Citado uma vez na página 14.

MARYANKA, Y et al. The Vehicle Power Line as a Redundant Channel for CAN Communication, 05/2013. Citado uma vez na página 14.